

JOSIANE BÜRKNER DOS SANTOS

**CARBONO E NITROGÊNIO EM CLASSES DE SOLOS COM DIFERENTES
TEXTURAS E TEMPO DE ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO -
ESPACIALIZAÇÃO E CONTRIBUIÇÃO DO SISTEMA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, área de concentração Produção
Vegetal, Departamento de Fitotecnia e
Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial
para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes
Co-orientador: Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá

**CURITIBA
2010**

Aos meus pais Izaira e João pelos
exemplos de persistência dedicação e trabalho e amor.
Ofereço.
Ao meu esposo, homem batalhador,
e obstinado as minhas filhas: Luane, Laísa, Marilene e
Lívia, pelo amor incondicional e inspiração.
Pelo apoio e fé in menoriã Cacilda Carneiro Lobo
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor nosso Deus, por nos dar o norte em nossas vidas. Ao professor Dr. João Carlos de Moraes Sá pela grande amizade e pelos ensinamentos de vida que estarão presentes em minha jornada, pelo seu apoio paciência e compreensão em todos os momentos difíceis.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR) pela excelência acadêmica.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa pelas suas portas abertas.

Ao Orientador: professor Dr. Anibal Moraes, pelo apoio dentro da UFPR.

Aos meus pais pela educação que me proporcionaram e apoio em momentos cruciais nessa jornada.

À Capes pela bolsa que permitiu a realização dessa tese.

A todos os professores e professoras que contribuíram em minha formação pessoal e profissional.

A todos os amigos e amigas do Programa de Pós-graduação, em especial à Lutécia, Ester, Itacir, Alvadi, Renata, Veruschka e Anne.

A todos os amigos e amigas da UEPG.

Aos agricultores que permitiram as coletas das amostras de solo em suas propriedades e forneceram informações importantes para essa pesquisa.

Ao apoio da Fundação ABC, da Emater, IAPAR que forneceram informações que permitiram a elaboração deste projeto.

Ao Engenheiro Agrônomo Carlos Mielke que devido seu apoio permitiu que essa tese realizar-se, aos Técnicos de Laboratório Jaqueline e Romeu que graças ao seu trabalho e apoio foi possível atingir nosso objetivo.

Aos acadêmicos da UEPG pelo auxílio nas coletas e análises em especial ao Giuliano Fernandes, Jaqueline Navarro e Mario Nadolny.

Ao incentivo dos colegas de estudo Lutécia, Ademir e Clever.

E a todos que de alguma forma contribuíram na elaboração deste trabalho.

BIOGRAFIA DA AUTORA

JOSIANE BÜRKNER DOS SANTOS, nascida no dia 13 de julho de 1968, em Ponta Grossa, PR, filha de João Maria Ferreira dos Santos e Izaira Bürkner dos Santos.

Engenheira Agrônoma, formada na Universidade Estadual de Ponta Grossa, (UEPG) em 1992, Ponta Grossa-PR .

No período de agosto de 1989 a agosto de 1991 desenvolveu atividades como Bolsista de Iniciação Científica.

Em maio de 2006 defendeu sua dissertação de Mestrado em Agricultura, na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) - PR com trabalho intitulado “ALTERAÇÕES NO ESTOQUE E TAXA DE SEQUESTRO DE CARBONO EM UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A SISTEMAS DE MANEJO”.

Em março de 2006 iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, na Universidade Federal do Paraná (UFPR), concluindo em março de 2010.

SUMÁRIO

1. RESUMO.....	1
2. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3.1 Alterações no estoque de carbono pelos sistemas de manejo do solo.....	13
4. HIPÓTESE.....	14
5. OBJETIVO GERAL.....	15
5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
6. DISTRIBUIÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DO CARBONO E NITROGÊNIO EM CLASSES DE SOLOS COM VARIAÇÃO NA TEXTURA E NO TEMPO DE ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ	16
Resumo.....	16
Abstract	18
Introdução	20
Objetivo Geral	21
Objetivo Específicos	22
Material e Métodos	22
Descrição e localização da Região de estudo	22
Histórico da ocupação da Região e a mudança do uso da terra	25
Distribuição das classes de solos na Região dos Campos Gerais do Paraná	25
Exemplo de cálculo do estoque de COT na camada de 0 – 10 cm de profundidade.....	27
Seleção das áreas e construção da base de dados	29
Procedimento de coleta das amostras de solo	32
Determinação de Carbono e Nitrogênio Total.....	34
Análise estatística.....	34

Resultados e Discussão	35
O impacto do sistema plantio direto	48
Conclusões	54
Referências Bibliográficas	55
7. FRAÇÕES DE CARBONO PARTICULADO, LÁBIL E ASSOCIADO AOS MINERAIS EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS E TEMPO DE ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	61
Resumo.....	61
Abstract	63
Introdução	65
Objetivo Geral	67
Objetivos Específicos	68
Material e Métodos	68
Descrição e localização da Região de estudo	68
Histórico da ocupação da Região e a mudança do uso da terra	71
Distribuição das classes de solos na Região dos Campos Gerais do Paraná	71
Seleção das áreas e construção da base de dados	75
Procedimento de coleta das amostras de solo	79
Fracionamento Granulométrico da MOS.....	81
Procedimento de separação das frações	81
Resultados e Discussão	82
Conclusões	96
Referências Bibliográficas	97
8. CONTRIBUIÇÃO DO TEMPO DE ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO NO ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM CLASSES DE SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ.....	100

Resumo.....	100
Abstract	101
Introdução	103
Objetivo Geral	104
Objetivos Específicos	104
Material e Métodos	105
Procedimento de cálculo e estimativa da contribuição do Sistema Plantio Direto no estoque total de C em classes de solos.....	106
Resultados e Discussão	109
Conclusões	115
Referências Bibliográficas	116
9. CONCLUSÕES GERAIS	124
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
11. LISTA DE SIGLAS	138

CARBONO E NITROGÊNIO EM CLASSES DE SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS E TEMPO DE ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO - ESPACIALIZAÇÃO E CONTRIBUIÇÃO DO SISTEMA

1. RESUMO

No estado do Paraná, a quantificação e o monitoramento do estoque de carbono (C) e de nitrogênio (N) do solo, nas diversas classes de solos, ainda é incipiente e insuficiente para oferecer o suporte, com precisão, aos inventários e estimativas de sumidouros de C e N, para as emissões dos gases de efeito estufa. Inventários realizados, foram elaborados através da base de dados do “Serviço Nacional de Levantamento de Solos” coordenado pela EMBRAPA além das informações do Projeto RADAM. Embora seja uma valiosa contribuição, ainda há uma grande lacuna a ser preenchida, referente à necessidade de se adequar aos métodos preconizados pela convenção sobre as mudanças climáticas, reportados nos relatórios (Assessment Reports), ou simplesmente AR’s 3 e 4 do IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2007) incluindo nos futuros relatórios a influência do fator antrópico a essas informações. Dessa forma, a adequação da amostragem e da coleta de dados georreferenciados a serem organizados de acordo com o uso de sistemas de informação geográfica (SIG), será fundamental para a formação da base científica sobre os sumidouros de C e N. Adicionalmente, a espacialização dos dados e o cruzamento de diversas interfaces possibilitarão a elaboração de modelos de previsão sobre a dinâmica do C e do N, considerando também as emissões dos gases. O objetivo desse estudo foi subdividido em três pontos: a) elaborar o inventário sobre o conteúdo e o estoque de carbono (C) e nitrogênio (N)

em classes de solos, levando em consideração a influência da classe textural e do tempo de adoção do Sistema Plantio Direto (SPD) na Região dos Campos Gerais do Paraná; b) Quantificação da fração do C e N lábil, particulado e associado aos minerais nos Latossolos sob influência da textura e do tempo de adoção do SPD; c) estimar a contribuição do tempo de adoção do SPD para as classes de solos avaliadas na região dos Campos Gerais do Paraná.

O inventário foi realizado em cinco municípios (Ponta Grossa, Castro, Carambeí, Palmeira e Tibagi) que representam 49,67 % da Região dos Campos Gerais do Paraná. As variáveis foram constituídas por: a) Classe de solo: Cambissolos, Latossolos, Argissolos, Gleissolos, Organossolos, Neossolos e Nitossolos; b) classe textural: textura média, argilosa e muito argilosa em Latossolos e Cambissolos e, nas demais classes de solos foi selecionada a classe textural mais representativa; c) tempo de adoção em plantio direto: áreas com menos de 15 anos (média de 11 anos SPD-11) e com mais de 15 anos (média de 20 anos SPD-20). Adicionalmente, foram selecionadas áreas com vegetação natural de campo nativo para ambas as situações (áreas com menos e mais de 15 anos) para servir como referência de solos nas condições originais. A seleção das áreas desse estudo se deu através do uso de mapas de levantamento de solos gerados pela Fundação ABC em nível detalhado (escala 1:10.000) e também dos mapas de levantamento de solos para o Paraná EMBRAPA, 1984 (escala 1:600.000). As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-10 (desprezando a palhada superficial), 10-20, 20-40, 40-70 e 70 a 100 cm.

O estoque de C e N em cada classe de solo para a profundidade de 0 - 1 m, considerando a área total de ocupação obedeceu à seguinte sequência: Cambissolos > Latossolos > Argissolos > Gleissolos > Organossolos > Neossolos > Nitossolos. Em

contraste, o estoque de C e N para cada classe de solo na profundidade de 0 - 1 m obedeceu à sequência: Organossolos > Nitossolos > Cambissolos > Latossolos > Gleissolos > Argissolos > Neossolos. A textura do solo foi o atributo que teve a maior influência no estoque de C e N em cada classe de solo e entre as classes. Os solos com textura muito argilosa apresentaram maior estoque de C e N em relação aos solos com textura argilosa e média. A soma do C armazenado na profundidade de 0 – 1 m de todas as classes de solos sob SPD-11 totalizou $210 \pm 0,28$ Tg, enquanto nos solos com SPD-20 a soma do estoque de C atingiu $222 \pm 0,23$ Tg. O estoque de C armazenado na profundidade de 0 - 1 m de todas as classes de solos em campo nativo foi superior em 16% aos solos com menos de 15 anos e 12% aos solos sob SPD-20.

Palavras-chave: Estoque de carbono e nitrogênio, sistema plantio direto, classes de solo, textura do solo, contribuição do plantio direto.

CARBON AND NITROGEN IN SOIL CLASSES UNDER DIFFERENT SOIL TEXTURES AND DURATION OF NO-TILLAGE SYSTEM ADOPTION– SPATIAL DISTRIBUTIONS AND CONTRIBUTION OF THE SYSTEM

2. ABSTRACT

In the state of Paraná, the quantification and monitoring of carbon stock (C) and nitrogen (N) of the soil, on the various classes of soils, is still incipient and insufficient to provide the support with accuracy to the inventories and estimates of C and N sinks, and of the emissions

of greenhouse gases. The inventories done have been developed through the database of "National Soil Survey" coordinated by EMBRAPA in addition to the informations from RADAM Project. Although it is a valuable contribution, there is still a big gap to be filled, regarding to the need of suiting to the recommended methods by the convention on climate changes, reported in the reports (Assessment Reports: AR's 3 e 4) of IPCC (2007) including the influence of the anthropic factor to these information's. Thus, the appropriateness of sampling and collection of geo-referenced data to be organized according to the use of geographic information systems (GIS) will be essential for the formation of the scientific basis on C and N sinks. Additionally, the data space and the intersection of several interfaces will enable the development of forecasting models on the C and N dynamics, also considering the greenhouse gas emissions. The aim of this study was divided into three sections: a) prepare an inventory on the contents and stock of carbon (C) and nitrogen (N) in soil classes, taking into account the influence of textural class and the adoption time of the No-Tillage System (NTS) in the region of Campos Gerais, Paraná, b) Quantification of C and N labile fraction, particulated and associated to the minerals in Oxisols under the influence of texture and time of NTS adoption, c) estimate the contribution of time of NTS adoption in the total organic carbon(TOC) stock for the soil classes found in the region of Campos Gerais of Paraná.

The inventory was conducted in five cities (Ponta Grossa, Castro, Carambeí, Palmeira and Tibagi) representing 49.67% of the region of Campos Gerais, Paraná. The variables were consisted of: a) Class of soil: Inceptisols, Oxisols, Ultisols, Gleysols, Histosols, Neossolos and Nitossolos; b) textural class: average loam, clay and heavy clay in Oxisols and

Inceptisols, and on the other soil classes was selected the most representative texture class; c) time of adoption of no-tillage system: areas with less than 15 years (mean age was 11 years old) and older than 15 years (mean 20 years). Additionally, were selected areas with natural vegetation of native field to both situations (areas with less and more than 15 years) due as reference of soil in original conditions. The selection of areas of this study was performed by using maps of soil survey generated by the ABC Foundation at a detailed level (1:10.000) and also the maps of soil survey for the Paraná EMBRAPA, 1984 (scale 1:600.000) . Samples were collected at a depth of 0-10, 10-20, 20-40, 40-70 and 70 to 100 cm.

The stock of C and N in each class of soil to a depth of 1 m, considering the total area of occupation had the following sequence: Cambisols> Oxisols> Ultisols> Gleissolos> Histosols> Neossolos> Nitossolos. In contrast, the stock of C and N for each class of soil at a depth of 1 m followed the sequence: Histosols> Nitossolos> Cambisols> Oxisols> Gleissolos> Ultisols> Neossolos. The soil texture was the attribute that had the greatest influence in the C and N stock in each soil class and between classes, while for the class of Histosols prevailed the intrinsic characteristics regarding to this class due to high accumulation of C. Soils with loamy texture showed higher stock of C and N in relation to soils with loamy texture and medium soils. The sum of C stored in the depth of 1 m from all the soil classes with less than 15 years under SPD amounted to 210 ± 0.28 Tg, while soils with more than 15 years under SPD the sum of C stocks amounted was 222 ± 0.23 Tg. The C stocks stored at a depth of 1 m for all classes on native soil was higher in 9.48% to the soils with less than 15 years and 4.78% for soils with more than 15 years under NTS, indicating

that NTS is a management system that promotes the recovery of the content and C stocks approaching the original conditions found in the landscape.

Key Words: Stocks of carbon and nitrogen, No-Tillage system, class of the soil, textural class, contribution of the No-Tillage system.

3. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

O conteúdo de C no solo é aproximadamente quatro vezes superior à quantidade estimada para a biomassa vegetal e animal e aproximadamente três vezes superior ao da atmosfera (Lal, 2008). Todavia, o reservatório atmosférico continua aumentando devido à queima de combustíveis fósseis, à emissão de gases oriundos da atividade industrial, ao desmatamento, à queima da biomassa vegetal e à oxidação do C orgânico, a qual se deve ao preparo do solo para produção de alimentos cujas emissões anuais totalizam cerca de 3,3 Gt de C ano⁻¹ (Lal, 2004 e 2008, Shrestha, 2009).

A estimativa do estoque de C na camada de 0-30 cm para os solos do território brasileiro (Bernoux et al., 2001), utilizando a base de dados do Serviço Nacional de Levantamentos de Solos, (EMBRAPA) variou de 31,7 a 63,9 Mg ha⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1. Estimativa do estoque de C na camada de 0-30 cm para os solos das regiões fisiográficas do território brasileiro.

Região	Superfície total	Estoque de C na superfície total	Estoque de C
	Km²	Mg ha⁻¹	Tg
Região Norte	3.822.534	46,5 ± 4,8	17.789 ± 1824
Região Nordeste	1.540.743	31,7 ± 2,4	4.886 ± 375
Região Centro-Oeste	1.610.888	40,9 ± 3,6	6.591 ± 582
Região Sudeste	923.105	40,3 ± 2,2	3.725 ± 204
Paraná	196.983	58,3 ± 6,3	1.149 ± 124
Rio Grande do Sul	269.076	61,0 ± 8,6	1.641 ± 232
Santa Catarina	93.603	63,9 ± 7,9	598 ± 74
Região Sul	559.661	60,5 ± 7,7	3.388 ± 430
Brasil	8.456.931	43,0 ± 4,0	36.378 ± 3414

Fonte: Bernoux et al., 2001.

Na Região Sul a média do estoque de C ($60,5 \pm 7,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) é maior que nas outras regiões do Brasil.

Entre as décadas dos 70 e 90, a conversão de florestas em áreas agrícolas foi a principal causadora das elevadas emissões de C para atmosfera no último século. As Regiões com as maiores emissões são a Centro-Oeste e a Região Norte, devido à conversão da vegetação natural de Cerrado em áreas agrícolas, e pela conversão da floresta amazônica em pastagens. Observou-se uma tendência de redução no período de 1975 a 1995 para aproximadamente $46,4 \text{ Tg CO}_2 \text{ ano}^{-1}$. Esta tendência de redução nas emissões demonstra as mudanças ocorridas na adoção de sistemas de manejo com maior impacto na conservação do solo. No entanto, apenas a Região Sul apresentou emissões negativas, ou seja, emitiu menos CO_2 de 1975 a 1995 do que o estimado para 1970 a 1990 (Bernoux et al., 2001).

No Paraná o estoque de C dos solos entre 1975 a 1995, o Paraná apresentou uma taxa de emissão de CO₂ negativa de - 425 Tg CO₂ ano⁻¹ e a conversão do plantio convencional (PC) em SDP tiveram contribuições expressivas para a redução das emissões. Embora as estimativas fossem realizadas para a camada de 0-30 cm de profundidade, as perdas de C em áreas de produção agrícola, sob o sistema de preparo convencional, ocorrem principalmente na camada superficial de 0-10 cm. Essas perdas foram estimadas entre 35 a 70% do conteúdo original do C do solo (Bayer et al., 2000; Sá et al., 2001).

O solo funciona como fonte ou dreno do C atmosférico, sendo um importante reservatório deste elemento para mitigação das emissões de C para atmosfera. Do ponto de vista agrônomo, o solo torna-se uma fonte de CO₂ para a atmosfera, quando as perdas por oxidação são maiores do que as adições de C pelos resíduos culturais. Os sistemas de manejo que usam o preparo do solo para a produção vegetal constituem o principal fator dessas perdas (Bruce et al., 1999). O solo embora considerado importante fonte de C para a atmosfera, com o uso do SPD, atualmente, possui um potencial de sequestrar 0,4-0,9 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, para um período de 20 a 50 anos (Sá et al., 2004; Lal, 2004; Bayer et al., 2005; Dieckow, 2005). A ausência de preparo, associada à manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo constituindo SPD, proporciona que o solo atue como um dreno do CO₂, mediante a absorção de CO₂ pelo processo de fotossíntese e a sua transformação em C orgânico do solo. A decomposição dos resíduos culturais e a futura estabilização do C no solo irá depender da quantidade e qualidade do resíduo cultural depositado.

Em contraste, o revolvimento do solo ocasionaria o aumento das taxas de oxidação do material orgânico depositado no solo e posterior perda do C deste material para a atmosfera.

Os sistemas conservacionistas de manejo, que primam pela manutenção dos resíduos culturais na superfície, sem o revolvimento do solo, direcionam-no a funcionar como dreno do C atmosférico. Além disso, têm-se constatado que a recuperação do carbono orgânico total (COT) está relacionada ao SPD associado ao aporte de elevadas quantidades de resíduos culturais. Experimentos de longa duração têm sido utilizados para demonstrar a recuperação do conteúdo de C, para os níveis iguais ou superiores aos encontrados originalmente sob vegetação natural de campo nativo (Sá, 2001, Dieckow, 2004).

Do ponto de vista do manejo do solo, Duxbury et al. (1989) sugerem que pode-se alocar os diferentes estágios da dinâmica do C em quatro compartimentos ou “pools”, representando as possíveis alterações causadas pelo manejo:

- *Compartimento ativo ou lábil* – é constituído por compostos orgânicos facilmente oxidáveis, derivados de fragmentos de vegetais recentes. É controlado principalmente pela adição de resíduos culturais, pelo clima, é fortemente influenciado pelo tipo de manejo do solo empregado. As modificações ocorrem com rapidez e elevadas quantidades de C e N estão em função das transformações da biomassa microbiana;
- *Compartimento lentamente oxidável* – está diretamente relacionado com os macroagregados e é controlado pela mineralogia e pelos fatores agronômicos que interferem na agregação. Dentre os quais, os sistemas de manejo do solo afetam o tamanho deste reservatório;
- *Compartimento muito lentamente oxidável* – está diretamente relacionado com os microagregados e o principal aspecto controlador é a sua estabilidade em água. O sistema de manejo do solo interfere muito pouco nesse compartimento;

- *Compartimento passivo ou recalcitrante* – está relacionado com o C associado às partículas primárias do solo. É controlado pela mineralogia da fração argila, formando complexos organominerais. Este compartimento não é influenciado pelo manejo do solo.

A decomposição lenta e gradual dos resíduos culturais libera compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade de agregados (Tisdall e Oades, 1982; Six et.al., 2002). Em consequência, a matéria orgânica do solo (MOS) fica menos exposta aos processos microbianos: reduzindo a taxa de mineralização e resultando em menor fluxo de CO₂ para a atmosfera (Reicosky, 1995). Esse mecanismo proporciona a proteção física da matéria orgânica do solo, que atua como agente de ligação entre os microagregados na formação dos macroagregados (Six et al., 2002). A formação de agregados no SPD está associada com a taxa de macroagregação como o caminho para a proteção do C oriundo do fluxo contínuo da decomposição dos resíduos culturais (Bayer et al., 2000; Sá et al., 2001). Dessa forma o solo torna-se um dreno de CO₂ atmosférico, quando as adições de C são maiores que as perdas por oxidação. Os sistemas de manejo, que usam o preparo do solo para a produção vegetal, constituem-se no principal fator dessas perdas.

Tisdall e Oades (1982) observaram que os polissacarídeos extracelulares das bactérias ou fungos e as mucilagens das raízes funcionam como agentes agregantes e cimentantes das partículas de solo. O crescimento e a proliferação das hifas dos fungos no SPD contribuem para a formação dos macroagregados (Beare et al., 1994). Os agentes temporários e transientes de ligação são importantes para a macroagregação (> 250 µm) (Tisdall e Oades, 1982).

Resultados obtidos por Amado et al. (2006) mostram que o aporte de N é fundamental na construção/acúmulo do COT em SPD no Brasil e, onde foram incluídas rotações com

leguminosas (fixadoras de N), ocorreu maior acúmulo de COT. Wider e Lang (1982), explicaram o processo de decomposição de resíduos de plantas, afirmando que, de modo geral, na fase inicial grande parte desses resíduos é constituída de materiais de fácil decomposição, como açúcares e proteínas, ficando para o final, o material recalcitrante e de difícil decomposição, como celulose, gorduras, tanino e lignina. Durante a decomposição, a proporção relativa de material recalcitrante aumenta progressivamente, enquanto a decomposição absoluta decresce, ficando a decomposição relativa permanentemente constante. Torna-se evidente, portanto, que o sistema de manejo do solo interfere diretamente na velocidade do processo de decomposição da matéria orgânica, e, que sistemas de manejo conservacionistas como o SPD proporcionam liberação contínua e gradual de nutrientes pelo processo de decomposição da MOS, porém com menores taxas de liberação de CO₂, sendo desejáveis quando o objetivo é o aumento da produtividade, em compasso com a preservação ambiental.

Nas últimas décadas, o SPD se destacou como um sistema de manejo conservacionista com ótimas respostas em produtividade e manutenção da qualidade do solo. A quantidade e a natureza dos compostos orgânicos dos resíduos culturais, adicionados à superfície do solo no SPD, alteram os compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) e o estoque de C. O estoque de C-lábil em experimento de longa duração, feito na Região dos Campos Gerais do Paraná, variou de 0,16 a 1,10 Mg ha⁻¹ e a média do estoque de C-lábil das culturas sucessoras foi de 0,65 Mg ha⁻¹ (Canalli, 2009).

A adição contínua de resíduos culturais com relações C:N contrastantes proporciona fluxos diferenciados de C e N. É essa variação que proporciona o acúmulo de matéria

orgânica no solo, e a ocorrência de sobreposição de resíduos em camadas, com resistência à decomposição diferente, em função de relações C:N diferenciadas.

A severidade na perda de C na forma de CO₂ devido à oxidação da matéria orgânica do solo (MOS) é maior em ambientes sob clima tropical e subtropical e pode ser 5 a 10 vezes superior às regiões sob clima temperado (Lal e Logan, 1995). Dieckow et al. (2005) estudando a composição da matéria orgânica do solo, mostraram que a matéria orgânica lábil, fração derivada diretamente dos resíduos de plantas, foi significativamente afetada pelo uso do solo e pelas diferentes culturas. Entretanto, não houve efeito na composição da matéria orgânica total do solo, porque a fração lábil representa somente 5-22% do C total. Recentemente, Sá e Lal (2009) constataram aumento significativo nas frações lábeis da MOS com o tempo de SPD. Além disso, afirmaram que essa fração é indicadora de qualidade da camada superficial do solo e é alterada em função da sucessão ou rotação de culturas.

Embora a oxidação da MOS seja superior nas regiões tropicais e subtropicais, os ganhos de C devido à adoção do SDP, associado à elevada quantidade anual de resíduos culturais, é superior aos solos sob clima temperado. Segundo Corazza et al., (1999) a Região dos cerrados brasileiros, com a taxa de 2,18 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, mostra o potencial das regiões tropicais. Por outro lado, em casos cujas entradas de resíduos culturais são menores, as taxas de seqüestro se reduzem expressivamente. Segundo Lal (1997), na Região oeste da Nigéria a redução foi de 0,17 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. No entanto, a grande diferença estabeleceu-se pelo maior aporte de resíduos culturais no experimento conduzido por Corazza et al. (1999), por meio da introdução de espécies com alta capacidade de produção de fitomassa, como a *Brachiaria decumbens*. Taxas de seqüestro da ordem de 0,9 a 1,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Amado et al., 1999;

Bayer et al., 2000; Sá et al., 2001; Dieckow et al., 2005; Amado et al., 2006) também se constata em solos sob clima subtropical na Região Sul do Brasil.

A taxa de agregação é a responsável pelo maior acúmulo de C no SDP em clima tropical e subtropical, comparados aos solos sob clima temperado. Conforme Six et al. (2002), nos solos sob clima tropical e subtropical há maior produção de fitomassa o que, conseqüentemente, estimula os agentes de agregação, temporários e transientes, aumentando a quantidade de macroagregados, o que resulte numa maior proteção física do C.

O exemplo disto, um experimento de longa duração sobre sistemas de uso da terra na Região Sul do Brasil constatou o aumento no estoque de C e N na camada de 0-10 cm no solo, sob SPD, superior ao solo sob vegetação natural. Todavia, o ganho de C nesta camada correspondeu a 82% do ganho total de C (Sá et al., 2001). Por outro lado, as perdas de C na camada de 0-10 cm sob PC representaram 97% da perda total de C (Sá et al., 2001).

3.1. Alterações no estoque de C pelos sistemas de manejo do solo

O conteúdo de MOS de vários sistemas agrícolas encontram-se abaixo dos níveis potenciais (Batjes, 1999) e, os sistemas conservacionistas poderiam ser a alternativa para mitigar as emissões de CO₂ nos sistemas de produção agropecuário. Entre esses sistemas, o SPD, associado à rotação de culturas com elevado aporte de resíduos culturais sobre o solo, apresenta o maior potencial de mitigação do CO₂ (Bayer et al., 2000; Sá et al., 2001; Dieckow et al., 2005, Amado et al., 2006).

Inúmeros trabalhos realizados em diversas eco-regiões compararam o aumento da MOS

no SDP em relação ao PC e constataram que esse aumento restringe-se principalmente à camada superficial, raramente ultrapassando os 15 cm de profundidade (Lal, 1997; Dick, 1983, 1998; Kern & Johnson, 1993; Bayer, 2000; Sá, 1993, 2001). Em regiões tropicais e subtropicais, os ganhos significativos nos teores de COT no SDP em relação ao PC também ocorreram basicamente na camada 0-10 cm de profundidade (Kern & Johnson 1993; Sidiras & Pavan, 1985).

Em solos sob clima temperado, Kern & Johnson (1993) constataram que o ganho médio de C no SDP em relação ao PC foi de 28,3% na camada de 0-8 cm, 16% na camada de 8-15 e nenhum ganho abaixo de 15 cm de profundidade. Em clima temperado, Reicosky et al. (1995) constataram que os ganhos em MOS no SPD foram de 0 a 2300 kg ha⁻¹ ano⁻¹, equivalente à taxa anual de 0 a 1,15 Mg ha⁻¹ de C. Segundo esses autores, os valores mais elevados relacionam-se às regiões mais frias, ou que receberam expressivos aportes de resíduos culturais de inverno. Além disso, associa-se à formação geológica, à fração argila (Six et al., 1999, Sá, 2001) aos mecanismos de proteção física da matéria orgânica do solo.

4. HIPÓTESE

Esta pesquisa foi concebida com base na hipótese de que a textura e o manejo do solo, através do tempo de adoção do plantio direto, controlam a capacidade de acumular C e N, a distribuição no perfil e a taxa de seqüestro de classes de solos na Região dos Campos Gerais do Paraná.

5. OBJETIVO

- Levantamento do estoque de C e N em classes de solos com base na textura e no tempo de adoção do SPD da Região dos Campos Gerais do Paraná;

5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar o inventário e a espacialização do estoque de C e N em classes de solos associadas com a textura e com o tempo de adoção do SPD na Região dos Campos Gerais do Paraná;
- Quantificar as frações: lábil, particulada, e as associadas aos minerais em Latossolos com diferentes texturas e espacializar a sua distribuição na área de estudo;
- Estimar a contribuição do C devido ao tempo de adoção do SPD no estoque de carbono orgânico total (COT) em classes de solos, com diferentes texturas, na região dos Campos Gerais do Paraná.

6. ESPACIALIZAÇÃO DO CARBONO E NITROGÊNIO EM CLASSES DE SOLOS COM VARIAÇÃO NA TEXTURA E NO TEMPO DE ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ

Resumo - Os resultados existentes sobre o estoque de C e N foram baseados nos levantamentos de solo feitos pelo Serviço Nacional de Levantamento e Classificação do Solo - Embrapa Solos (1978-80 e 1981) e o Projeto RADAMBRASIL (1986-87). O objetivo deste trabalho foi elaborar o inventário e espacialização do estoque de C e N até a profundidade de 0 - 1 m em classes de solos na Região dos Campos Gerais do Paraná considerando a textura do solo e tempo de adoção do SPD. A amostragem obedeceu ao procedimento preconizado pelo IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 1997). A coleta do solo foi realizada em dezessete propriedades nos municípios de Ponta Grossa, Palmeira, Castro, Carambeí e Tibagi. O modelo do inventário foi concebido com base nos seguintes fatores: a) *classes de solos*; b) *classe de textura* e c) *tempo de adoção do SPD*. As classes de solos coletadas foram os Latossolos e Cambissolos, em três classes de textura: muito argilosa, argilosa e média. Também foram coletadas amostras em Organossolos, Argissolos e Neossolos sem o fator textura. O fator tempo de adoção do SPD foi baseado na seleção de áreas com menos e mais de 15 anos. A média das áreas com menos de 15 anos foi de 11 anos (SPD-11) enquanto a média das áreas com mais de 15 anos em SPD foi de 20 anos (SPD-20). Como linha de base, para servir como referência nas comparações, entre o tempo de adoção do SPD, foram coletadas amostras em campo nativo ou vegetação remanescente, para todas as classes de solo. Em cada local de amostragem foi definido o quadro de referência ou

“Benchmark” no qual foram coletadas nove amostras por profundidade em cinco profundidades: 0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 40 cm e 40 - 70 cm e 70 - 100 cm. Os estoques de C foram calculados para todas as profundidades considerando a relação de massa e volume (densidade do solo), o conteúdo do C e N expresso em g kg^{-1} e a espessura da camada amostrada. O estoque total no perfil de 100 cm foi obtido com a soma do estoque calculado por camada amostrada. Foram coletadas amostras deformadas para análises químicas e físicas EMBRAPA, 1997. Os resultados referentes ao uso da terra (Vegetação natural, SPD-11 e SPD-20) foram comparados dentro de cada classe de solo e para cada classe de textural através da ANOVA e a comparação das médias foram realizadas com a aplicação do teste de Tukey para o nível de 5% de probabilidade com o *software* SISVAR.

Os estoques de C e N foram superiores nos solos com maior conteúdo de argila. A textura teve a maior influência no estoque de C e N. Os solos com textura muito argilosa apresentaram maior estoque de C e N do que nos solos com textura argilosa e média. A soma do C, armazenado na profundidade de 0 - 1 m de todas as classes de solos com SPD-11 foi inferior ($210 \pm 0,28 \text{ Tg}$) aos solos com SPD-20 ($222 \pm 0,23 \text{ Tg}$). A soma do C, armazenado na profundidade de 0 - 1 m de todas as classes de solos sob campo nativo foi de 250 Tg, superior em 16% se a região fosse inteiramente sob SPD-11 e 12% superior se a região fosse inteiramente sob SPD-20.

Palavras-chave: Inventário de Estoque de Carbono, Estoque de Nitrogênio, plantio direto, Campos Gerais do Paraná.

CARBON AND NITROGEN IN SOIL CLASSES UNDER DIFFERENT SOIL TEXTURES AND DURATION OF NO-TILLAGE SYSTEM ADOPTION– SPATIAL DISTRIBUTIONS AND CONTRIBUTION OF THE SYSTEM

Abstract - Existing results on the stock of C and N were based on surveys of soil made by the National Survey and Soil Classification - Embrapa Solos (1978-80 and 1981) and by RADAMBRASIL project (1986-87). The objective of this study was to prepare the inventory and spatial distribution of the C and N stock to a depth of 1 m in the soil classes in the region of Campos Gerais, Paraná considering soil texture and time of adoption of the SPD. The collection of samples followed the procedure recommended by the IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1997). The collection of soil was performed in seventeen properties in the cities of Ponta Grossa, Palmeiras, Castro, Carambeí and Tibagi. The model of the inventory was designed based on the following factors: a) classes of soil b) class of texture and c) time of adoption of the NTS. The classes of soils were collected from Oxisols and Inceptisols in three classes of texture: very clayey, clayey and medium soils. Samples were also collected in Histosols, Alfisols and Neossolos without the texture factor. "The timing of SPD adoption was based on the selection of areas with less and more than 15 years. The average of the areas under 15 years was 11 years while the average of the areas with more than 15 years under NTS was 20 years. As a baseline for reference in the comparisons between the time of NTS adoption, were collected samples in native field or remnant vegetation for all classes of soil. At each sampling site was defined the frame of reference or "benchmark" in which were collected nine points per depth at five depths: 0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 40 cm and 40 - 70 cm and 70 to 100 cm. The C stocks were calculated for all depths

considering the relationship of mass and volume (soil density), the contents of C and N in g kg⁻¹ and the thickness of the layer sampled. The total stock in the profile of 100 cm was obtained with the sum of the stock calculated by layer sampled. Deformed samples were collected for chemical analysis and physical EMBRAPA, 1997. Statistical analysis was performed through ANOVA and the average test for each soil with the software SISVAR, using the Tukey test to 5% of probability. To obtain the curves of regression, the used procedure for regression analysis was by the program JMP IN version 3.2.1 (Sall et al. 2005), using the F test, 5, 1 and 0.1% of probability.

Stocks of C and N were higher in soils with higher clay content. The texture had a greater influence on the stock of C and N. Soils with loamy soil showed higher stock of C and N than in clayey soils and average. The sum of C, stored at a depth of 1 m from all classes of soils with less than 15 years under NTS was lower (210 ± 0.28 Tg) than the soils with more than 15 years under NTS (222 ± 0.23 Tg). The sum of C, stored at a depth of 1 m from all classes of soils under native field, was higher in 9.48% than in the soils with less than 15 years and 4.78% than the soils with more than 15 years under NTS.

Key Words-: Inventory of Stocks of Carbon, Nitrogen Stocks, No-Tillage System, Campos Gerais – PR region.

Introdução

O aquecimento global tem sido uma enorme preocupação da comunidade científica nos últimos anos (Lal, 2008) e o levantamento e/ou inventário dos sumidouros e das emissões dos gases de efeito estufa (NO_2 , CH_3 e CO_2) é um dos maiores desafios desta comunidade.

Os solos representam um importante compartimento de C no ecossistema terrestre e, segundo Lal (2008) este compartimento armazena cerca de quatro vezes mais C que a biomassa vegetal e aproximadamente três vezes mais que a atmosfera. Vários fatores influenciam o comportamento do solo como fonte ou dreno de C, tais como: clima, a classe de solo, a mineralogia, a textura e o sistema de manejo.

Desde a ratificação do protocolo de Kioto, os países signatários vêm buscando o cumprimento desse acordo, e a elaboração de inventários periódicos dos gases de efeito estufa é uma orientação do *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC), que segue as regras estabelecidas desde 1997. Nesse inventário devem ser registrados os fluxos de gases de efeito estufa e os sumidouros, representados pelos solos mediante a medição do estoque em uma determinada camada.

Segundo Fidalgo et. al., (2007), as estimativas de estoque de C nos solos do Brasil ainda são incipientes, faltando informações com base na amostragem a campo sobre a quantidade de C orgânico nos solos, sobre diferentes usos e em diferentes regiões do Brasil. Entretanto alguns levantamentos sobre o estoque de C têm sido feitos no Brasil (Batjes, 1996; Bernoux et al., 2002 e 2005; Wang et al., 2003; Lettens et al., 2005; Fidalgo et al., 2007, Tornquist, et al., 2009).

O sistema de manejo tem influência direta sobre os estoques de C do solo. Segundo Sá et al., (2001), Amado et al. (2006), Santos (2006), Costa, et al. (2008), o SPD, associado a rotação de culturas com alta adição de resíduos vegetais ricos em C e N, resulta em balanço positivo de C no solo. O equilíbrio entre a entrada e a saída de C em solos agricultáveis, passa pela implementação de sistemas de produção fundamentados em princípios da agricultura conservacionista. Nas regiões subtropicais e tropicais, a conversão do campo nativo ou florestas em áreas agrícolas teve enorme impacto nas perdas da matéria orgânica do solo. Entretanto as mudanças que ocorreram com o surgimento do SPD proporcionou vários benefícios para a conservação dos solos. A introdução do SPD, com a manutenção permanente da cobertura do solo, contribui para o incremento do conteúdo de C orgânico, para a reciclagem de nutrientes, a fixação simbiótica de N, a retenção e a infiltração de água no solo, para a redução do escoamento superficial e o eficiente controle da erosão hídrica, fatores estes que resultam na melhoria da qualidade ambiental e na preservação dos recursos naturais (Bayer & Mielniczuk, 1997; Debarba & Amado, 1997; Amado et al., 2000; Santos et al., 2003; Lovato et al., 2004; Cerri et al., 2007), Santi et al., (2007).

Objetivo Geral

Elaborar o inventário e a espacialização do estoque de C e N em classes de solos associadas com a textura e com o tempo de adoção do SPD na Região dos Campos Gerais do Paraná.

Objetivos Específicos

- Quantificar o estoque de C e N nas classes de solos: Latossolo com textura muito argilosa, Latossolo com textura argilosa, Latossolo com textura média, Cambissolo com textura muito argilosa, Cambissolo com textura argilosa, Cambissolo com textura média e os Argissolos, Organossolos, Neossolos típicos nas profundidades: 0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 40 cm e 40 - 70 cm e 70 - 100 cm;
- Quantificar o estoque de C e N nas profundidades: 0- 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 70 cm e 70 – 100 cm e considerar a classe de solo sob vegetação natural como referência para a comparação com os solos com menos e mais de 15 anos sob SPD;
- Gerar mapas com a espacialização do estoque de C e N em função das classes de solos e do tempo de adoção do SPD, usando o SIG para representar o potencial de contribuição desse sistema de manejo na mitigação de CO₂ na Região dos Campos Gerais do Paraná;

Material e Métodos

Descrição e localização da Região de estudo

A área de estudo situa-se na macrorregião denominada Campos Gerais do Paraná, e abrangeu cinco municípios: Ponta Grossa, Carambeí, Castro, Palmeira e Tibagi, totalizando uma extensão territorial de aproximadamente 1.531.864 hectares (Figura 1).

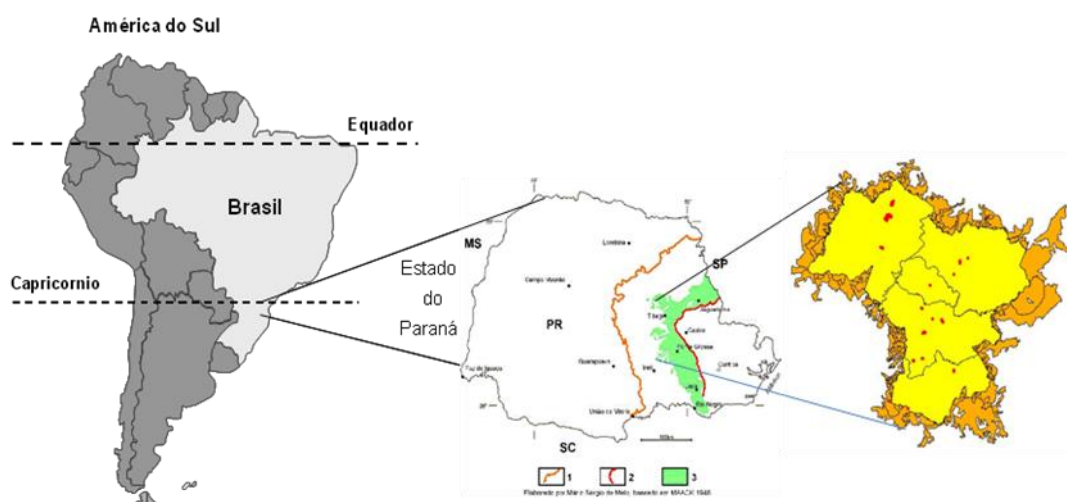


Figura 1. Localização da área de abrangência do inventário dos estoques de C e N (destaque em amarelo) que representa os municípios de Ponta Grossa, Carambeí, Castro, Palmeira e Tibagi.

O clima está descrito conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Clima da área de estudo.

Clima	Componentes	Municípios amostrados				
		P.Grossa	Carambeí	Castro	Palmeira	Tibagi
	Tipo	Cfb [†]	Cfb	Cfb/ Cfa [†]	Cfb	Cfb/Cfa
	TM _{Amax} ^{††}	24,1 °C	24,1 °C	20,2 °C	24,1 °C	18,6 °C
	TM _{Amin.} ^{†††}	13,3 °C	13,3 °C	27,6 °C	13,3 °C	26,0 °C
	TMA ^{††††}	17,8 °C	17,8 °C	15,8 °C	17,8 °C	13,4 °C
	MAP ^{†††††}	1554 mm	1554 mm	1360 mm	1554 mm	1596 mm

[†] Classificação climática de acordo com Koeppen, ^{††}TM_{Amax} - Temperatura média anual máxima, ^{†††}TM_{Amin} - Temperatura média anual mínima, ^{††††}TMA - Temperatura média anual, ^{†††††}MAP - Média anual pluviométrica.

As localizações, classes de solos e texturas o tempo de adoção do SPD e rotação de culturas das áreas coletadas estão descritas na Tabela 3.

TABELA 3. Localização, classificação dos solos, textura, tempo de adoção do SPD e rotação de culturas.

Municípios	Benchmark	Classificação do solo	Textura	Tempo de adoção do SPD [†]	Rotação de culturas [†]
Tibagi	24	Latossolo Vermelho	Muito argiloso	11 ⁽²⁾ , 15 ⁽²⁾ , 20	So-Tr/M-AP/So-Tr
			Argiloso	11, 12, 20 ⁽²⁾	So-Tr/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az
			Média	12, 13, 15	So-Tr/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az
		Cambissolo	Muito argiloso	11, 12, 15, 20	So-Tr/M-AP/So-Tr
			Argiloso	11, 15 ⁽²⁾ , 20	So-Tr/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az
			Média	13, 20 ⁽²⁾	So-Tr/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az
		Argissolo	Argilosa e Muito argilosa	12	So-Tr/M-AP/So-Tr
Ponta Grossa	15	Latossolo Vermelho	Muito argiloso	10, 23	M-Az/B-Tr/M-Az
			Argiloso	12	M-AP/So-Vs/So-Az
			Média	10, 18, 30	So-AP+Az/M-AP/So-Tr + So-TR/M-AP/So-Tr
		Cambissolo,	Muito argiloso	10, 23	M-Az/B-Tr/M-Az
			Argiloso	12	M-AP/So-Vs/So-Az
			Média	10 ⁽³⁾ , 18 ⁽²⁾ , 30	So-AP+Az/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az + So-Tr/M-AP/So-Tr
Palmeira	3	Argissolo	Sandy clay	20	So-Tr/M-AP/So-Az
		Neossolo	Sandy	12, 25	M-Az/M-AP/M-Az
Carambeí	4	Latossolo Vermelho	Muito argiloso	16	So-Tr/M-AP/So-Tr
			Argiloso	16	So-Tr/M-AP/So-Tr
		Cambissolo	Média	16	So-Tr/M-AP/So-Tr
		Neossolo	Arenosa	9	So-Az/M-Az/So-Az
Castro	2	Organossolo	Muito argiloso	30	M,Az/B,AP/M,Az
			Argiloso	4	So-Tr/M-AP/So-R

[†] So = Soja, TR = Trigo, M = Milho, AP = Aveia Preta, R = Arroz de Sequeiro, Az= Azevêm, Vs= Vicia Sativa. Os números entre parênteses em sobre escrito significam o número de vezes que propriedades com o mesmo tempo, em anos, se repetem.

Histórico da ocupação da Região e a mudança do uso da terra

Anteriormente à conversão da paisagem regional para fins agrícolas, a vegetação natural era constituída principalmente de campos limpos e campos cerrados naturais, sendo que atualmente, apenas poucos fragmentos desta vegetação encontram-se preservados. Em 1971, no Estado do Paraná, foram implantadas as primeiras pesquisas em Plantio Direto no Brasil. A partir do crescimento do SPD houve um grande impulso em direção a uma agricultura economicamente viável e ecologicamente sustentável. Atualmente, o uso do SPD possibilita o crescimento e desenvolvimento da agricultura na Região dos Campos Gerais do Paraná, que é predominantemente de grãos como soja, milho, trigo e feijão.

Distribuição das classes de solos na Região dos Campos Gerais do Paraná.

As ordens de solos de maior ocorrência na área de estudo são os Cambissolos (33,87%); os Latossolos (28,13%); os Neossolos (16,61%); os Argissolos (12,52%); os Gleissolos (5,0%); os Organossolos (1,57%); os Nitossolos (1,46%), havendo ainda ocorrência de Afloramentos de rocha (0,84%), mostrado na Tabela 4 e Figura 2.

Tabela 4. Classes de solos da Região de estudo.

Classes de solos	Área total de cada classe de solo	% da classe de solo	Superfície da classe de solo
	Ha	%	%
Latossolo, Textura muito argilosa	322.934	21.08	
Latossolo, Textura argilosa	70.892	4.63	
Latossolo, Textura média	37.076	2.42	28.13
Cambissolo, Textura muito argilosa	19.275	1.26	
Cambissolo, Textura argilosa	425.744	27.79	
Cambissolo, Textura média	73.850	4.82	33.87
Argissolo, muito argiloso	55.827	3.64	
Argissolo, Textura média e arenosa	135.924	8.87	12.52
Organossolo	23.983	1.57	1.57
Neossolo	254.493	16.61	16.61
Nitossolo (Não Coletado)	22.421	1.46	1.46
Gleissolo (Não Coletado)	76.568	5.00	5.00
Área com ocorrência de Afloramento de Rocha (Não Coletado)	12870	0.84	0.84

Fonte: Mapa gerado no ArcView baseado no mapa de solos do Paraná (EMBRAPA, 1984) em escala 1:600.000.

A estimativa e a espacialização dos estoques de C e N das classes de solos foram realizadas com base na etapa 1 do manual do IPCC (1997), preconizando o agrupamento dos solos de acordo com zonas climáticas, conforme os critérios a seguir: os estoques de C do solo foram agrupados de acordo com a textura: média, argilosa e muito argilosa (classificação textural Embrapa, 2006) e o tempo de adoção de plantio direto, de acordo com a escala de evolução do SPD reportada Sá (2004). Os dados referentes ao estoque de C e N foram plotados no mapa de solo (Figura 2) atualizado e digitalizado pela Embrapa (2007), gerando os mapas com a espacialização de estoque de C e N da região de estudo. O cálculo do estoque de C e N se baseou nos dados do conteúdo de COT e N-total em g kg^{-1} , transformados de kg para Mg, na densidade do solo em g cm^{-3} e transformada para Mg m^{-3} e no volume da

profundidade de amostragem (VPA) em m^3 . Os resultados finais foram expressos em Mg ha^{-1} para cada profundidade amostrada, conforme o exemplo a seguir:

$$\text{Estoque de C (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{COT (kg Mg}^{-1}\text{)} \times \text{DS (Mg m}^{-3}\text{)} \times \text{VPA (m}^3\text{)}$$

Exemplo de cálculo do estoque de COT na camada de 0 – 10 cm de profundidade

$$\text{Conteúdo de COT} = 30 \text{ g kg}^{-1} \equiv 30 \text{ kg Mg}^{-1}$$

$$\text{Densidade do solo (DS)} = 1,42 \text{ g cm}^{-3} \equiv 1,42 \text{ Mg m}^{-3}$$

$$\text{Volume da Profundidade Amostrada (VPA)} = 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times 0,1 \text{ m} = 1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$\text{Estoque COT} = 30 \text{ kg Mg}^{-1} \times 1,42 \text{ Mg m}^{-3} \times 1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 42600 \text{ kg ha}^{-1} \equiv 42,6 \text{ Mg ha}^{-1}$$

O estoque total de COT e N para a profundidade de 0 – 1 m, foram calculado através do somatório dos valores obtidos em cada camada amostrada.

Figura 2. Mapa das Classes Solos da área de estudo compreendida na Região dos Campos Gerais do Paraná gerada a partir do banco de dados fornecidos pela Fundação ABC.

Seleção das áreas e construção da base de dados

A seleção dos locais de amostragem foi baseada no banco de dados da Fundação ABC que é constituído por mapas de solo em escala 1:600.000 (levantamento semi-detalhado – EMBRAPA, 1984), e por levantamentos detalhados de solos em nível de propriedade na escala 1:10.000, realizados pela EMBRAPA para a Fundação ABC. Foi considerado também o histórico de uso da terra, com o detalhamento do sistema de manejo de solo. A espacialização das informações geradas com o sistema de informação geográfica (SIG) produziu os mapas desse trabalho. As coletas foram feitas nos municípios de Ponta Grossa, Palmeira, Castro, Carambeí e Tibagi. A área foi delimitada com o uso do *software ArcView* (Figura 1 e 3), sendo usados os limites políticos dos cinco municípios do estudo, acrescidos pelas áreas das unidades de solos que ultrapassavam os limites políticos destes municípios, contabilizando uma área total de 1.531.864 ha.

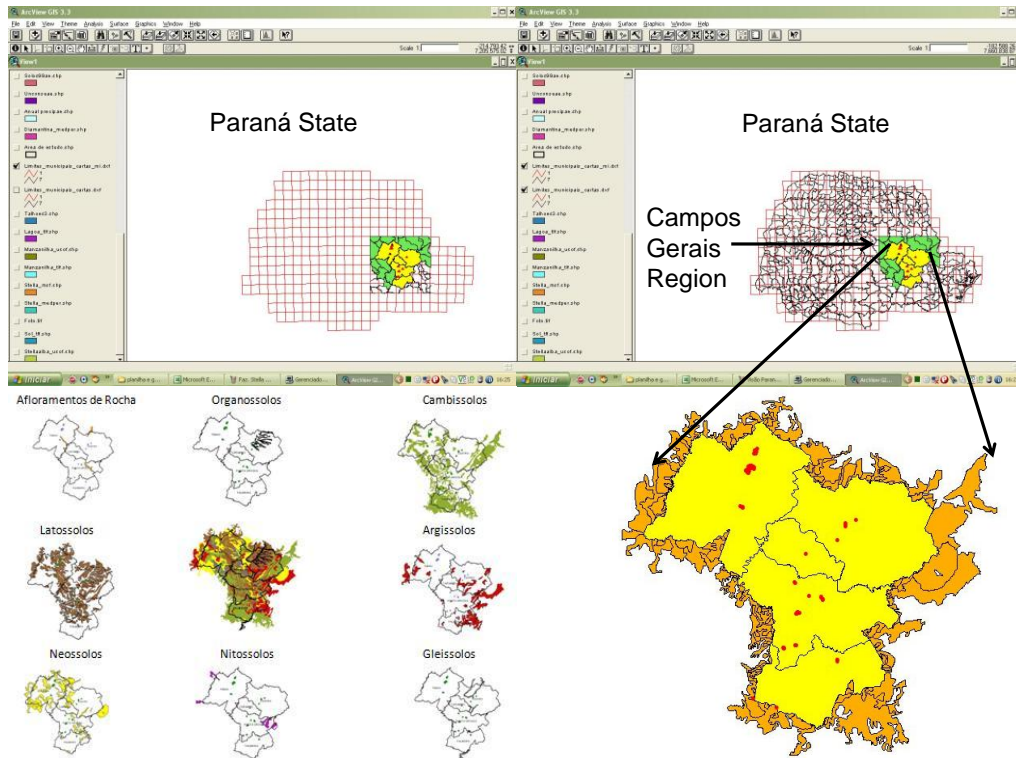


Figura 3. Ilustração do procedimento de seleção das classes de solos na Região dos Campos Gerais do Paraná com base no SIG.

De acordo com a metodologia descrita pelo IPCC (1997), são necessários no mínimo 6 tipos de solos para representar com certo grau de precisão uma região. Dessa forma foram selecionadas as classes de solos, em nível de ordem, mais representativas da Região dos Campos Gerais do Paraná, conforme Tabela 4: as classes de solo com maior extensão (Latosolos e Cambissolos) e as classes de solos que também estão em uso agrícola em SPD com os tempos maior de 15 anos e menor de 15 anos de adoção do sistema: Argissolos, Neossolos e Organossolos.

Dessa forma, foram selecionados os Latossolos que representam 28,13% os Cambissolos que representam 33,87% e os Argissolos, Neossolos e Organossolos que representam 30,70% da área total. Nas duas classes de solos de maior expressão Latossolos e Cambissolos – 62 % de área total foram selecionadas áreas com textura média, argilosa e muito argilosa com tempo de adoção do SPD maior e menor de 15 anos de além de áreas em campo nativo (Figura 4).

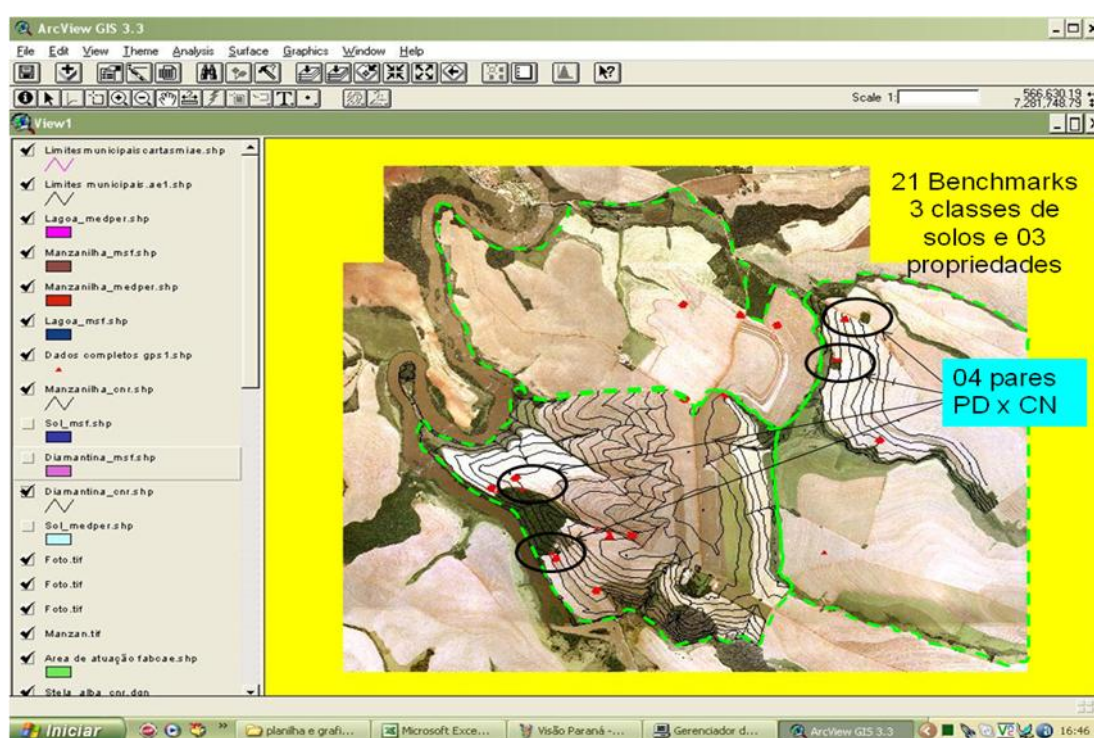


Figura 4. Representação da localização dos pontos de amostragem nas áreas selecionadas pelo banco de dados da Fundação ABC. Pares de amostras com o SPD e o solo sob campo nativo como referência.

As classes de solos selecionadas nesse estudo abrangeram 92,7% da área total. Para as classes que não foram coletadas foi usado um valor referenciado conforme descrito a seguir: Para os Afloramentos de Rocha não foi atribuído valor, para os Nitossolos foi atribuído os

valores dos Latossolos de textura argilosa e para os Gleissolos normalmente encontrados na transição entre Cambissolos e Organossolos foi atribuído os menores valores das três texturas dos Cambissolos.

A média das áreas selecionadas com o tempo de adoção do SPD com menos de 15 anos foi de 11 anos (SPD-11) e a média das áreas com mais de 15 anos foi de 20 anos (SPD-20). O critério de escolha das áreas com menos e mais de 15 anos de SPD foi baseado na escala de evolução do SPD proposta por Sá (2004) e desenvolvida com base nas transformações dos compartimentos da MOS e de atributos do solo. Essa escala destaca que as alterações são aditivas e ocorrem com o passar do tempo e propões 4 fases: a) fase inicial (0 – 5 anos): rearranjo da estrutura devido à ausência de preparo; b) fase de transição (6 – 10 anos): inicia o acúmulo de palhada, MOS e de fósforo (P); c) fase de consolidação (11 – 20 anos), ocorre o acúmulo de palha e aumento crescente de C; d) fase de manutenção (> 20 anos), elevado acúmulo de palha na superfície, fluxo contínuo de C e N, elevado acúmulo de P na camada superficial do solo.

Procedimento de coleta das amostras de solo

Para a identificação das classes de solos e definição dos locais de amostragem foram utilizados os mapas de solo das propriedades em escala de 1:10.000 elaborados pela EMBRAPA floresta e cedidos pela Fundação ABC (Figura 5). Para cada classe de Latossolo e Cambissolo foram coletadas três propriedades rurais diferentes e um local para Argissolo, Organossolo e Neossolo.

No campo, após identificação da classe de solo, marcou-se a área de referência (Benchmark) conforme Figura 5.

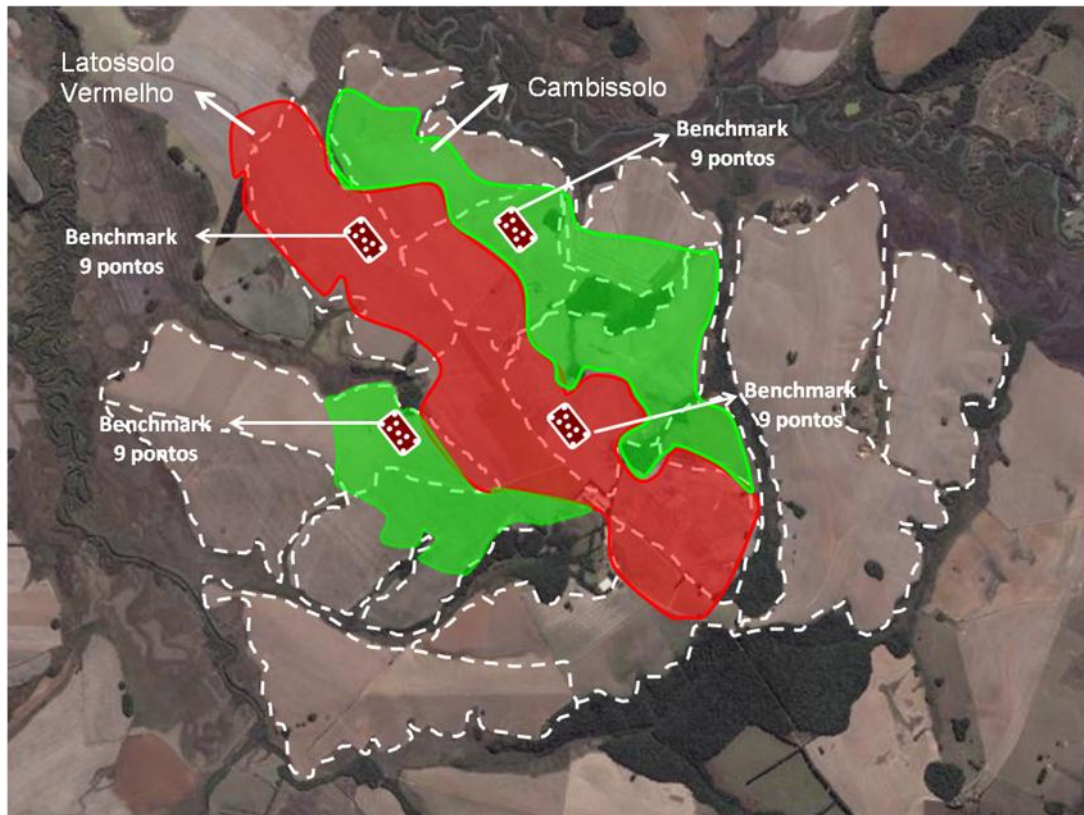


Figura 5. Localização da área de referência “Benchmark” nos talhões das áreas de estudo para elaboração do inventário dos estoques de C e N na Região dos Campos Gerais do Paraná.

As dimensões de cada “Benchmark” foram de 30 x 30 m e em cada um deles foram feitas nove trincheiras assim localizadas: uma em cada extremidade do quadrado, uma no centro e as outras em forma de quadrado em torno do ponto central, formando um X, e procurando-se a manter a equidistância dos cantos e centro. Nestas trincheiras foram coletadas: 1) as amostras indeformadas, para a determinação da densidade do solo, utilizando-se anéis de aço inox com diâmetro e altura de 5 cm, conforme, Blake & Hartge (1986), 2)

amostras deformadas para a determinação da textura, do conteúdo de C e N, além das análises químicas para caracterizar a fertilidade do solo em cada “Benchmark”.

Determinação de Carbono e Nitrogênio total

O conteúdo de C e N nas amostras integrais, nas classes de agregados e na fração particulada foi determinado pelo método da combustão seca utilizando um determinador elementar de C e N (TruSpec CN LECO[®] 2006, St. Joseph, EUA).

Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o *software* SISVAR 5.0, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão.

O conteúdo de C aumentou conforme o incremento no conteúdo de argila, ocorrendo à maior concentração de C na camada até 20 cm (Figura 6). Independente da textura do solo, observou-se redução do conteúdo de C conforme o aumento da profundidade no perfil, constituindo um processo de estratificação conforme reportado por Sá e Lal (2009). Em textura média o conteúdo de C não diferiu entre o campo nativo e o tempo de SPD, ao contrário foi constatado em textura argilosa e muito argilosa.

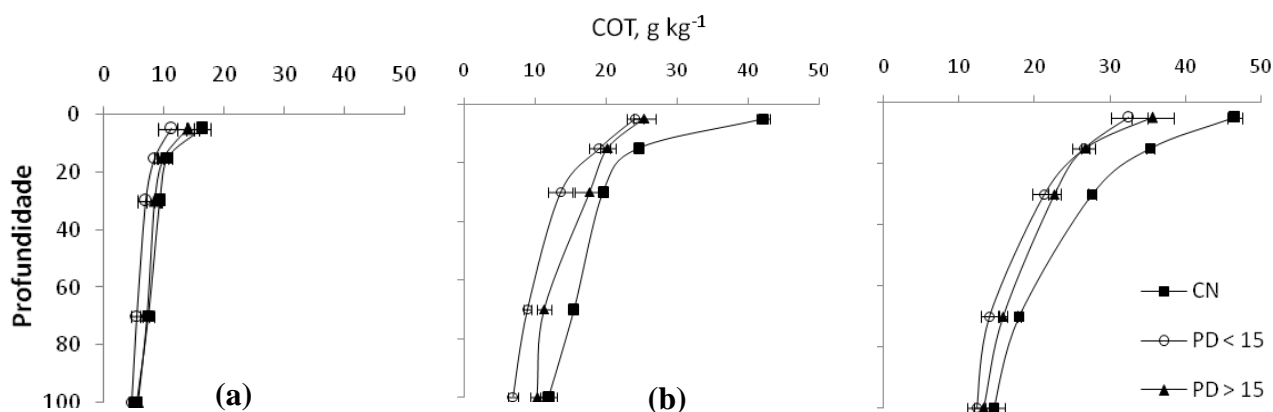


Figura 6. Distribuição do Conteúdo de C no perfil de Latossolos: (a) Textura média; (b) Textura argilosa; (c) Textura muito argilosa.

Nos Latossolos, o conteúdo de C e N decresceu de acordo com a sequência: textura muito argilosa > textura argilosa > textura média e foram mais elevados na camada superficial de 0-20 cm, diminuindo gradualmente com a profundidade (Figura 6). O maior conteúdo de C nos Latossolos foi encontrado em CN, comprovando os resultados reportados por vários autores (Campos, 2008, Lovato et al., 2004, Bayer, 1996, Sá et al. 2001), cujo conteúdo de

carbono no solo nas camadas superficiais são maiores sob vegetação nativa comparadas a solos que já sofreram mudanças pelo uso e manejo.

Nos Cambissolos textura muito argilosa os exemplares coletados sob SPD-11 apresentaram concentração de argila maior nos Cambissolos sob SPD-20, o que pode ter causado os maiores conteúdos de C em todas as profundidades em SPD-11. Os teores de argilas nos Cambissolos sob SPD-11 apresentaram conteúdos de argila de 4,76 % a 11% maiores que os exemplares sob SPD-20 e os teores de C variaram de 7,7 % a 27,6 % a mais comparados aos SPD-11.

Os Cambissolos apresentaram comportamento contrastante aos Latossolos em relação à textura, e nos Cambissolos menor variação foi observada em textura argilosa. Também foram observados os maiores conteúdos de C para essa classe de solo nas áreas sob SPD-20 na textura muito argilosa, cuja contribuição foi expressiva da camada de 0-20 cm. (Figura 7).

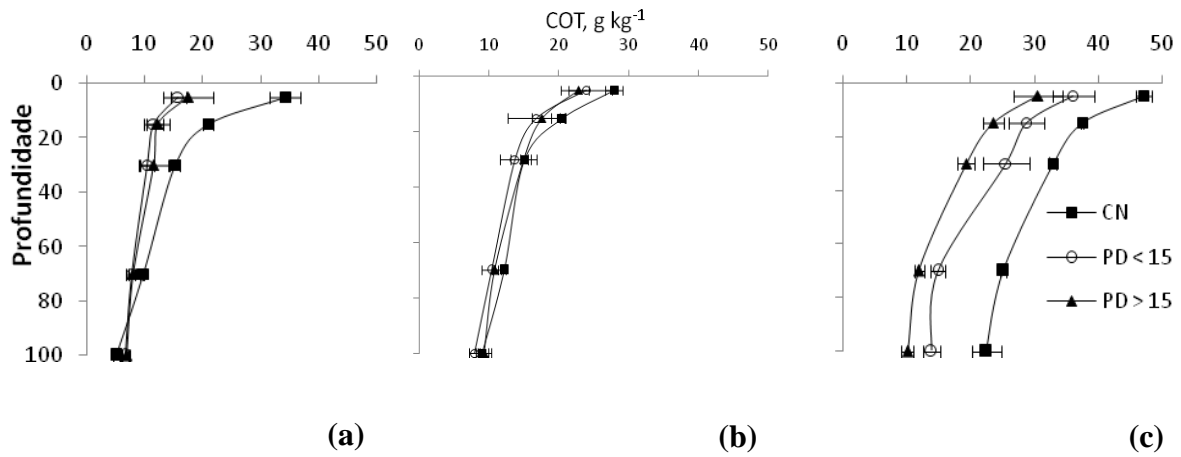


Figura 7. Distribuição do Conteúdo de C no perfil de um Cambissolo: (a) Textura média; (b) Textura argilosa; (c) Textura muito argilosa.

A distribuição do conteúdo de C no perfil de Argissolos, Organossolos e Neossolos foram diferentes comparada aos Latossolos e Cambissolos (Figura 8).

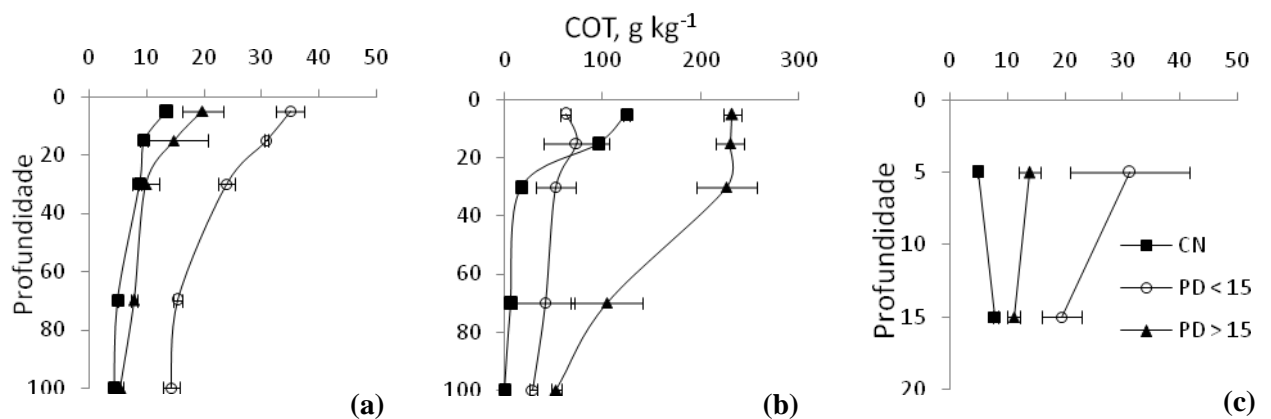


Figura 8. Distribuição do Conteúdo de C no perfil em diferentes classes de solos: (a) Argissolo; (b) Organossolo; (c) Neossolo.

Em Argissolos, o conteúdo de C foi maior na camada de 0-20 cm e decresceu com a profundidade no perfil, embora haja o aumento do conteúdo de argila no horizonte B (figura 8). Os resultados obtidos nesse estudo estão de acordo aos encontrados por Amado et al., (2006) e Campos (2006) em Eldorado do Sul, RS. O conteúdo de COT nos Organossolos foi 2 a 3 vezes superior aos Argissolos e aproximadamente 7 vezes aos Neossolos, demonstrando que nesses solos encontram-se importantes sumidouros de COT (Figura 8). Os valores encontrados foram semelhantes aos reportados por Tornquist et al., (2009) para o Rio Grande do Sul em aproximadamente de 140 g kg^{-1} nos primeiros 30 cm. O conteúdo de C dos Neossolos (Figura 8) também foram semelhantes aos encontrados para o Rio Grande do Sul, por Tornquist et al. (2009), e foram de 61 g kg^{-1} .

O conteúdo de N no perfil de Latossolos em três classes de texturas: muito argilosa, argilosa e média diferiu expressivamente entre si e teve a mesma tendência do conteúdo de C (Figura 9).

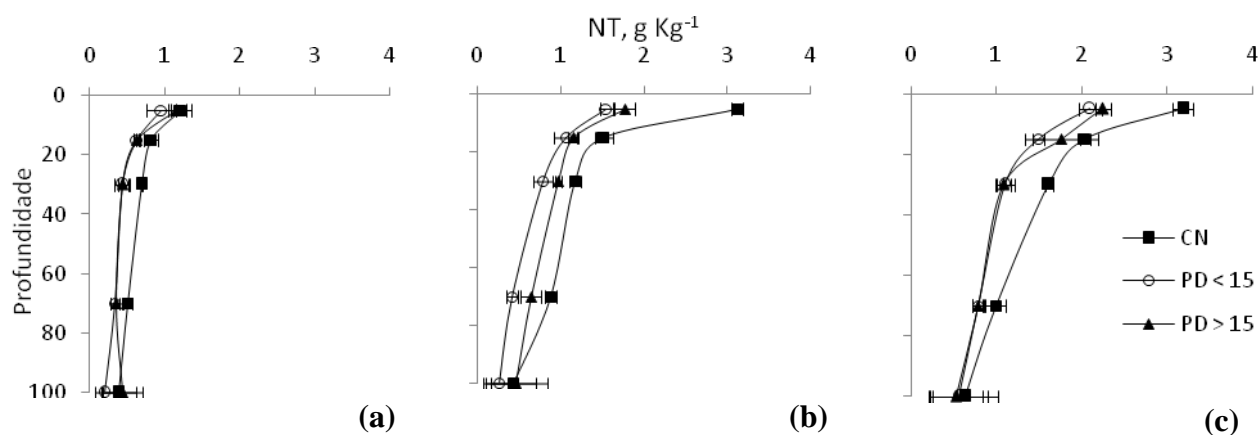


Figura 9. Distribuição do Conteúdo de N no perfil de um Latossolo Vermelho: (a) Textura média; (b) Textura argilosa; (c) Textura a muito argilosa.

Nos Latossolos os estoques de N total obedeceu à sequência: muito argilosos > argilosos > textura média (Figura 9). Nas áreas sob campo nativo (CN) o conteúdo de COT foi superior nas três texturas, provavelmente em função da diversidade maior de espécies que o CN promove associada à maior relação C/N e dessa forma mantendo maior conteúdo de N no solo (Venske-Filho, 2001, Canalli, 2009).

O conteúdo de N variou menos na textura média, comparados a textura argilosa, e muito argilosa. Entretanto o conteúdo de N apresentou comportamento muito semelhante entre si dentro da mesma textura nos Latossolos cujo coeficiente de variação foi baixo, indicando que a demarcação dos “Benchmark” em cada classe de solo foi eficiente.

Nos Cambissolos o conteúdo de N também diminuiu com a profundidade no perfil (Figura 10) e variou menos nas texturas média e argilosa. Os maiores conteúdos foram nos CN semelhante aos resultados encontrados nos Latossolos.

A distribuição do conteúdo de N no perfil de Cambissolos também nas três texturas mostraram que no CN encontra-se os maiores valores seguidos do SPD-20, sendo superior ao SPD-11. Embora os Cambissolos seja uma classe de solo com diferenças contrastantes na sua descrição em relação aos Latossolos a distribuição do N foi semelhante para os três sistemas de uso da terra (CN, SPD-11 e SPD-20).

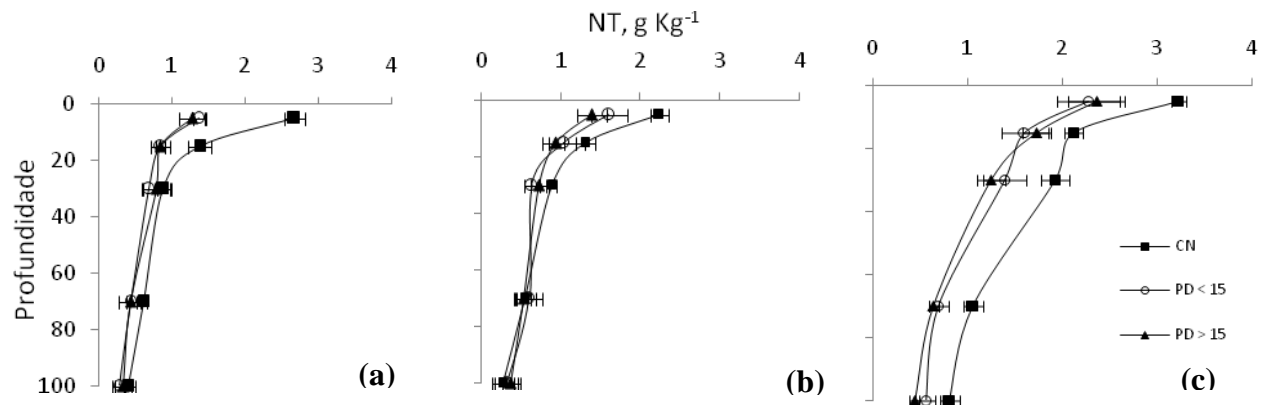


Figura 10. Distribuição do conteúdo de N no perfil de um Cambissolo : (a) Textura média; (b) Textura argilosa; (c) Textura muito argilosa.

Em contraste, o conteúdo e a distribuição de N no perfil de Argissolos, Organossolos e Neossolos (Figura 11) foram superiores sob plantio direto com mais de 15 anos e indicando que nessas classes de solos o tempo de adoção de plantio direto foi preponderante no acúmulo e estocagem de COT.

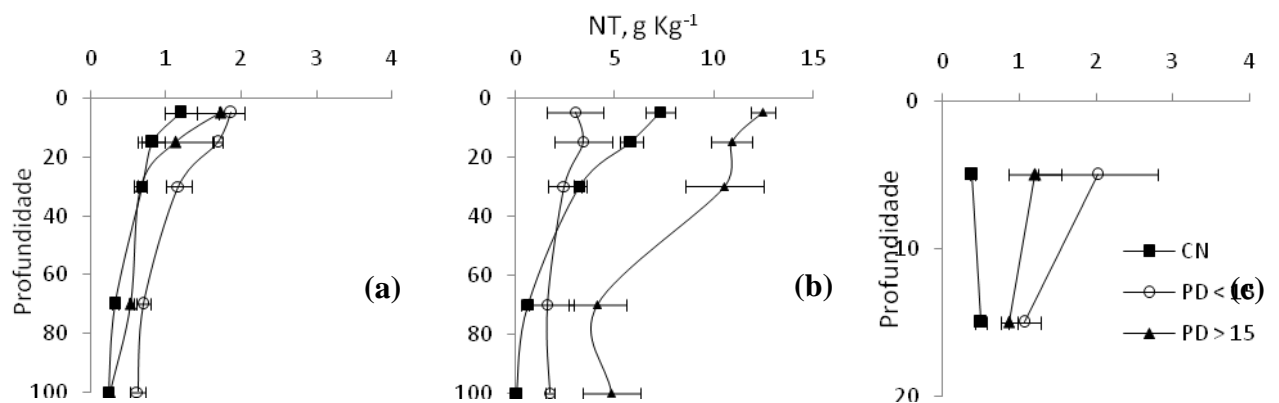


Figura 11. Distribuição do conteúdo de N no perfil: (a) Argissolos; (b) Organossolos; (c) Neossolos.

Nos Argissolos, Organossolos e Neossolos, o conteúdo de N teve comportamento diferenciado, com tendências de acúmulo na camada sub-superficial para os Argissolos e Organossolos e decrescente nos Neossolos (Figura 11), demonstrando a variação no acúmulo que cada classe de solo tem para a elaboração de um inventário sobre os sumidouros de C e N, principalmente porque determinadas classes de solos tais como os Organossolos, os Latossolos, os Cambissolos possuem elevada capacidade de armazenamento de C (Figura 11). Por outro lado, a separação dos estoques de COT e N-total em duas camadas, sendo uma envolvendo o horizonte A e a transição para o horizonte B (0 – 40 cm) e outra camada representando o subsolo constatou-se a maior parte do estoque de COT e N-total nos primeiros 40 cm (Tabela 5).

Tabela 5. Estoque de COT e N em classes de solos sob vegetação natural de campo nativo (CN), SPD-11 e SPD-20 na Região dos Campos Gerais, Paraná p
40 – 100 cm.

Classe de solo†	Profundidade	Estoque de COT			Estoque de N		
		CN	SPD-11	SPD-20	CN	SPD-11	SPD-20
	Cm	----- Mg ha ⁻¹ -----					
L, ma	0 – 40	122,83	111,81	119,25	7,44	6,37	6,60
L, ma	40 – 100	86,58	82,81	89,02	4,30	4,18	4,31
L, a	0 – 40	111,01	83,29	98,62	7,33	5,05	6,14
L, a	40 – 100	95,96	52,24	70,70	4,70	2,27	3,74
L, m	0 – 40	58,99	49,20	57,25	4,45	3,59	3,74
L, m	40 – 100	53,78	40,27	51,91	3,69	2,11	3,27
C, ma	0 – 40	135,71	121,10	121,37	8,22	7,43	7,16
C, ma	40 – 100	133,76	84,02	81,07	5,30	3,72	3,41
C, a	0 – 40	93,22	88,80	89,95	6,28	5,09	4,89
C, a	40 – 100	72,21	67,16	70,01	2,80	3,43	3,19
C, m	0 – 40	96,20	68,81	73,96	6,50	5,35	4,58
C, m	40 – 100	54,84	55,90	62,24	3,87	1,98	2,98
P	0 – 40	54,86	119,78	76,88	3,19	6,20	5,86
P	40 – 100	39,90	95,68	54,50	3,68	4,22	3,15
O	0 – 40	141,76	180,70	523,08	13,93	8,57	25,49
O	40 – 100	29,03	185,35	295,40	3,19	8,79	16,93
R	0 – 40	18,26	33,38	72,95	1,27	4,44	2,76

†L, ma = Latossolo, muito argiloso; L, a= Latossolo argiloso; L, m = Latossolo textura média; C, ma = Cambissolo muito argiloso; C, a= Cambissolo argiloso, C, m= Cambissolo textura média, P = Argissolo, O= Organossolo, R = Neossolos N- nc= Nitossolo não coletado, G, nc= Gleissolo não coletado, Aflor. nc = Afloramento de Rochas não coletadas.

A média do estoque de COT na camada de 0-40 e 40-100 cm de profundidade de todas as classes de solos foi 56,86 e 42,35%, respectivamente (Figura 12).

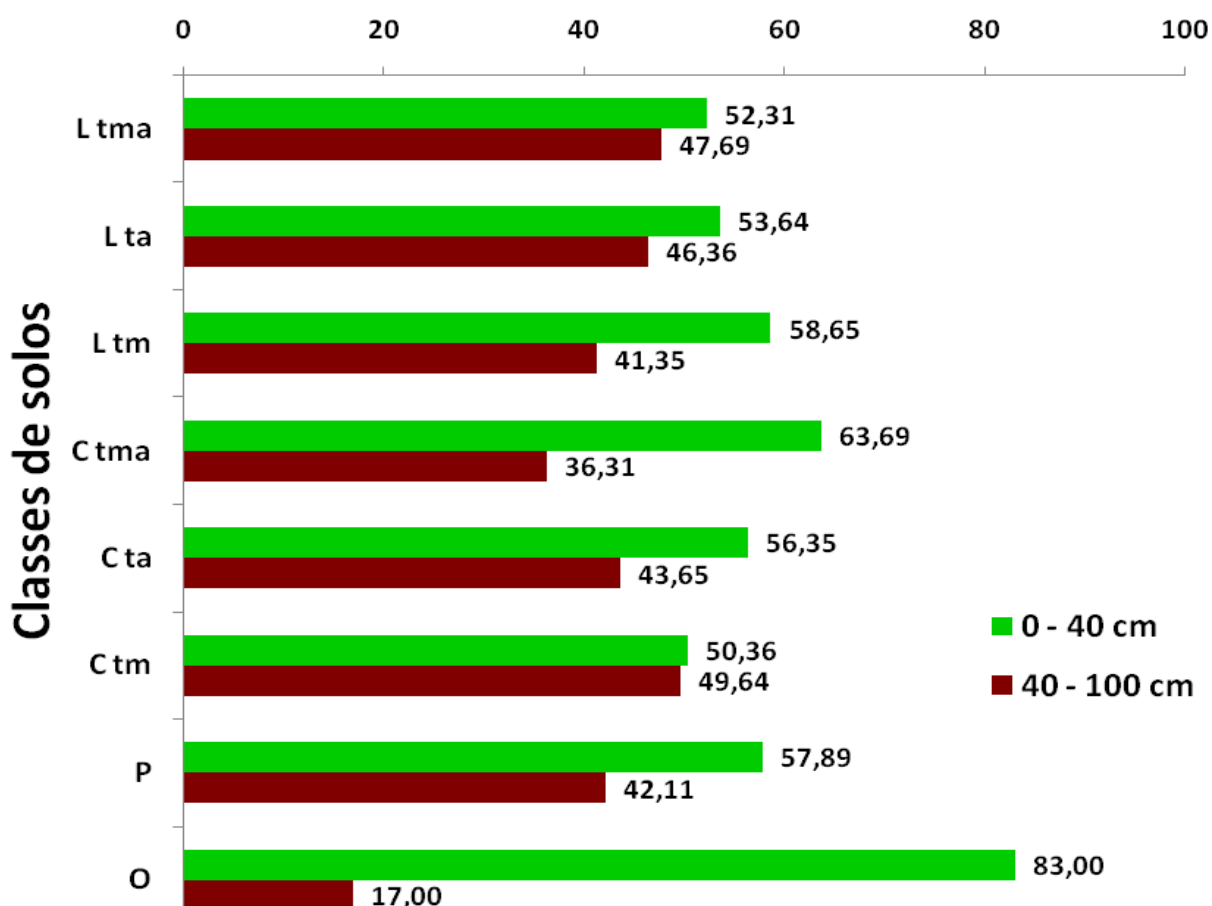


Figura 12. Porcentagem do estoque de COT nas classes de solos sob vegetação de campo nativo para a camada de 0-40 cm e 40-100 cm em relação ao estoque total no perfil de 0-100 cm. Classes de solos: L, ma = Latossolo muito argiloso; L, a = Latossolo argiloso; L, m = Latossolo textura média; C, ma = Cambissolo muito argiloso; C, a = Cambissolo argiloso; C, m = Cambissolo textura média; P = Argissolo; O = Organossolo.

Embora a diferença entre essas camadas não seja expressiva, deve ser considerado os contrastes encontrados na média dos resultados. Nos Organossolos sob vegetação natural a

camada de 0-40 cm representa 83% do COT do perfil de 100 cm, enquanto para os Latossolos e Cambissolos 54,9 e 57,2% respectivamente (Figura 13). Isso indica que a primeira parte da decisão sobre a camada de solo a ser amostrada para representar o estoque de COT e N em uma determinada região deve considerar a classe de solo e a sua textura.

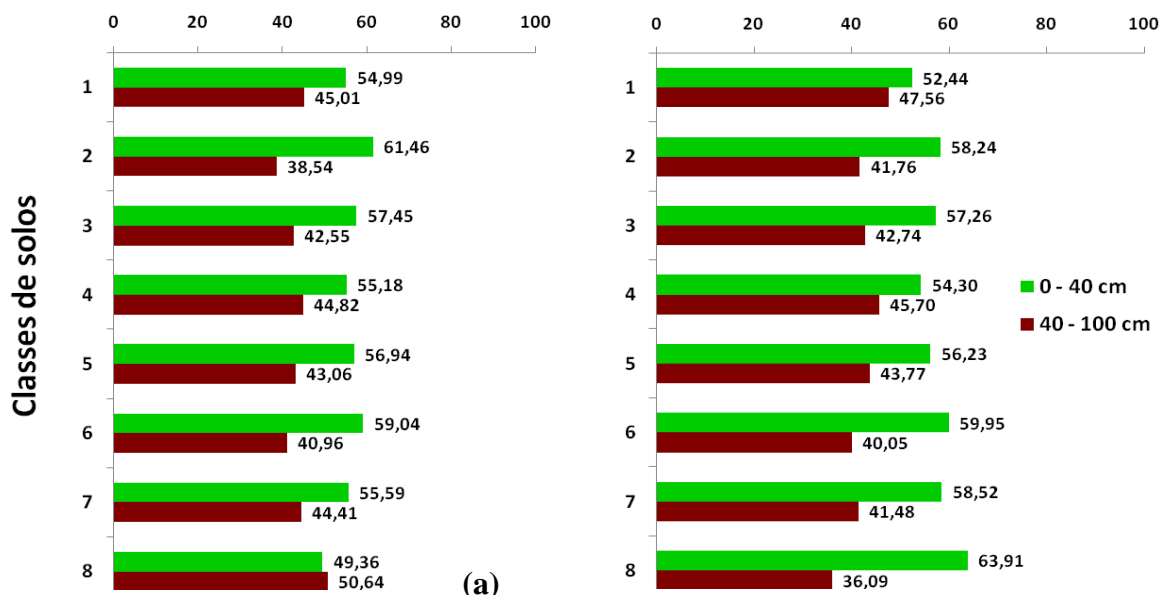


Figura 13. Porcentagem do estoque de COT nas classes de solos: (a) SPD-11; (b) SPD-20, para a camada de 0-40 cm e 40-100 cm em relação ao estoque total no perfil de 0-100 cm. Classes de solos: L, ma = Latossolo muito argiloso; L, a = Latossolo argiloso; L, m = Latossolo textura média; C, ma = Cambissolo muito argiloso; C, a = Cambissolo argiloso; C, m = Cambissolo textura média; P = Argissolo; O = Organossolo.

Embora não ocorram diferenças significativas para a porcentagem do COT nas camadas de 0-40 e 40-100 cm devido ao tempo de adoção de SPD, constatou-se diferença expressiva para o Organossolo na camada de 0-40 cm. A porcentagem do COT de 49,4% nas áreas com plantio direto com menos de 15 anos aumentou para 63,9% com o SPD-20. Na condição natural a porcentagem de COT na camada de 0-40 cm foi de 83% indicando que a conversão do Organossolo para área de produção agrícola promove elevadas perdas de C

devido às condições aeróbicas que favorecem a oxidação do C pela atividade da microbiota do solo.

O estoque de COT no solo até 100 cm de profundidade estimado por Balbinot (2002) no município de Cambará do Sul (RS) foi de $227,8 \text{ Mg ha}^{-1}$, e a camada de 0 - 40 cm representou 65% deste total. Esse valor encontra-se dentro da faixa dos resultados encontrados nesse estudo, que foram de 57,28 a 83,0 % do COT para os primeiros 40 cm (Tabela 5). Comparando os valores encontrados nesse estudo para o estoque de COT para 1m de profundidade com os reportados por Bernoux et al. (2001) para essa região, observou-se a média de 158 Mg ha^{-1} de COT (Tabela 6) para todas as classes de solos e equivale a 85 % dos valores propostos por Bernoux et al (2001). Considerando os Latossolos com textura média o estoque de COT representa 61%. A relevância dessas diferenças está associada ao fato de que uma estimativa realizada com base nos dados do Levantamento de Solos (EMBRAPA 1984) com um número reduzido de pontos e não especificando a textura e o manejo do solo pode superestimar em alguns casos e subestimar em outras situações.

O inventário do estoque de COT e N por área de abrangência de cada classe de solo sob vegetação natural de campo nativo (CN), SPD-11 e SPD- 20 expressos em Tg, para a profundidade de 0 - 1m constatou que o CN representa o maior estoque acumulado de COT (Tabela 6).

Tabela 6. Estoque de COT e N em classes de solos sob vegetação natural de campo nativo (CN), SPD-11 e SPD-20 na Região dos Campos Gerais, Paraná. Profundidade de 0 – 1 m.

Classes de solo†	Área/ classe de solo	Estoque de COT			Estoque de N-Total		
		CN	SPD-11	SPD-20	CN	SPD-11	SPD-20
	(ha)	----- Mg ha ⁻¹ -----					
L, ma	322934	209 ± 1,38 A	194 ± 3,03 A	208 ± 2,25 A	11,73 ± 0,21 A	10,55 ± 0,21 A	10,92 ± 0,28 A
L, a	70892	206 ± 0,14 A	135 ± 2,34 C	169 ± 3,04 A	12,03 ± 0,17 A	7,32 ± 0,24 A	9,88 ± 0,29 A
L, m	37076	112 ± 1,26 A	89 ± 2,62 A	109 ± 2,79 A	8,14 ± 0,19 A	5,69 ± 0,21 A	7,0 ± 0,24 A
C, ma	19276	269 ± 0,10 A	216 ± 0,45 A	176 ± 0,29 A	13,51 ± 0,22 A	11,15 ± 0,20 B	10,57 ± 0,14 B
C, a	425745	165 ± 0,09 A	155 ± 0,52 A	159 ± 0,22 A	9,07 ± 0,29 A	8,53 ± 0,42 A	8,09 ± 0,26 A
C, m	73851	151 ± 0,09 A	124 ± 0,52 C	136 ± 0,22 B	10,37 ± 0,29 A	7,33 ± 0,42 AB	7,56 ± 0,26 B
P	191752	131 ± 0,48 A	131 ± 0,48 A	131 ± 0,48 A	9,01 ± 0,33 A	9,01 ± 0,33 A	9,01 ± 0,33 A
O	23984	366 ± 2,08 A	366 ± 2,08 A	366 ± 2,08 A	17,37 ± 0,42 A	17,37 ± 0,42 A	17,37 ± 0,42 A
R	254494	33 ± 0,19 A	33 ± 0,19 A	33 ± 0,19 A	2,76 ± 0,29 A	2,76 ± 0,29 A	2,76 ± 0,29 A
N – nc	22421	206 ± 0,14 A	135 ± 2,34 C	169 ± 3,04 A	12,03 ± 0,17 A	7,32 ± 0,24 A	9,88 ± 0,29 A
G – nc	76568	151 ± 0,09 A	124 ± 0,52 C	136 ± 0,22 B	10,37 ± 0,29 A	8,53 ± 0,42 AB	8,09 ± 0,26 B
AFLO. Nc	12871						
Totais	1.531.864,1						
Média		186 ± 0,67	154 ± 1,34	166 ± 1,38	10,5 ± 0,25	8,7 ± 0,31	9,2 ± 0,31

†L, ma = LATOSSOLO, muito argiloso; L, a= Latossolo argiloso; L, m = LATOSSOLO textura média; C, ma = Cambissolo muito argiloso; C, a= Cambissolo argiloso, C, m= Cambissolo textura média, P = Argissolo, O= Organossolo, R = Neossolos N- nc= Nitossolo não coletado, G, nc= Gleissolo não coletado, AFLO. nc = Afloramento de Rochas não coletado. Tratamentos com letras iguais na linha, separadamente para C e N, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Inventário do estoque de COT e N por área de abrangência das classes de solos sob vegetação natural de campo nativo (CN), SPD-11 e SPD-20 para a profundidade de 0 - 1m na Região dos Campos Gerais, Paraná.

Classe de solo†	Área/ classe de solo (ha)	Estoque de COT			Estoque de N		
		CN	SPD-11	SPD-20	CN	SPD-11	SPD-20
		----- Tg -----			-----		
L, ma	322934	67 ± 0,77	62 ± 1,69	67 ± 2,25	3,79 ± 0,067	3,41 ± 0,067	3,53 ± 0,089
L, a	70892	14 ± 0,17	9 ± 0,28	12 ± 3,04	0,85 ± 0,012	0,52 ± 0,017	0,70 ± 0,021
L, m	37076	4 ± 0,08	3 ± 0,16	4 ± 2,79	0,30 ± 0,007	0,21 ± 0,008	0,26 ± 0,009
C, ma	19276	5 ± 0,003	4 ± 0,01	3 ± 0,29	0,28 ± 0,004	0,24 ± 0,007	0,16 ± 0,005
C, a	425745	70 ± 0,06	66 ± 0,38	68 ± 0,22	3,86 ± 0,125	3,63 ± 0,177	3,44 ± 0,110
C, m	73851	11 ± 0,02	9 ± 0,03	10 ± 0,52	0,77 ± 0,014	0,54 ± 0,015	0,56 ± 0,034
P	191752	25 ± 0,16	25 ± 0,16	25 ± 0,48	1,73 ± 0,063	1,73 ± 0,063	1,73 ± 0,063
O	23984	8 ± 0,09	8 ± 0,09	8 ± 2,08	0,41 ± 0,010	0,41 ± 0,010	0,41 ± 0,010
R	254494	5 ± 0,08	5 ± 0,08	5 ± 0,19	0,44 ± 0,075	0,44 ± 0,075	0,44 ± 0,075
N – nc	22421	4 ± 0,01	3 ± 0,09	3 ± 3,04	0,27 ± 0,004	0,16 ± 0,005	0,22 ± 0,007
G – nc	76568	11 ± 0,01	9 ± 0,07	10 ± 0,22	0,69 ± 0,023	0,65 ± 0,032	0,62 ± 0,020
AFLO. Nc	12871	0	0	0	0	0	0
Total	1.531.864	250 ± 2,01	210 ± 0,28	222 ± 0,23	13,64 ± 0,06	12,19 ± 0,07	12,38 ± 0,07

†L, ma = LATOSSOLO, muito argiloso; L, a= Latossolo argiloso; L, m = LATOSSOLO textura média; C, ma = Cambissolo muito argiloso; C, a= Cambissolo argiloso, C, m= Cambissolo textura média, P = Argissolo, O= Organossolo, R = Neossolos N- nc= Nitossolo não coletado, G, nc= Gleissolo não coletado, AFLO. nc = Afloramento de Rochas não coletado.

A área de abrangência nesse estudo totalizou 1.531.864 ha e contabilizou $250 \pm 2,01$ Tg considerando todas as classes de solo sob CN; $210 \pm 0,28$ Tg considerando todas as classes de solos sob SPD-11; $222 \pm 0,23$ Tg considerando todas as classes de solos sob SPD-20, para a 0 - 1 m de profundidade (Tabela 6).

O impacto do Sistema Plantio Direto

O estoque de COT sob vegetação natural de CN em todas as classes de solos foi superior ao estoque de COT nas mesmas classes sob SPD-11 e SPD-20 (Tabelas 5 e 6), e de acordo com o descrito por vários autores (Bayer, 1996, 2006; Sá, 2001, 2009; Lal, 2004; Dieckow, 2005; Fearnside, 2006) que os estoques de COT são menores em sistemas conservacionistas jovens, que ainda não estão estabilizados.

A soma do estoque de COT para 0 - 1 m de profundidade em todas as classes de solos sob SPD-11 e SPD-11 (considerando a superfície total ocupada por cada classe de solo) foi de $210 \pm 0,28$ Tg e $222 \pm 0,23$ Tg, respectivamente, enquanto nas mesmas classes de solos sob vegetação natural de CN foi de $250 \pm 2,01$ Tg. As classes de solos sob vegetação natural possuem 16% e 12% a mais de COT em relação às áreas sob SPD-11 SPD e SPD-20, respectivamente. O estoque COT do SPD-20 de todas as classes de solos foi 4% superior ao SPD-11, demonstrando que a manutenção do SPD torna-se uma alternativa segura para a recuperação do estoque de COT.

Também se pode afirmar que o efeito do tempo de SPD nesse estudo ainda não recuperou o estoque de COT perdido com a conversão da área de vegetação natural para área cultivada. Esses resultados coincidem com os reportados por Sá et al. (2001), Siqueira, 2006 e

Santos 2006 para a mesma Região, na qual Sá et al. (2001) afirmaram que o SPD com 10 e 22 anos não foi suficiente para recuperar o conteúdo de C original. Entretanto, os mesmos autores também reportaram que a recuperação do conteúdo de C original depende da qualidade e da quantidade de C adicionado e para tanto, estimaram que necessitasse 22 a 30 anos com o SPD contínuo com um aporte anual médio 7,5 a 8,0 Mg ha⁻¹ de resíduos culturais para recuperar o conteúdo original e em 39 a 41 anos o conteúdo de COT seria 45% superior ao estoque original encontrado no CN.

A média do estoque de COT de todas as classes de solo (0 - 1 m de profundidade) foi de $186 \pm 0,67$ Mg ha⁻¹ para o CN e $154 \pm 1,34$ Mg ha⁻¹ em SPD-11 e $166 \pm 1,38$ Mg ha⁻¹ em SPD-20 e são próximos aos mencionados por Lal (2004) e Boeni (2007).

A distribuição do estoque de COT e N dos Latossolos apresentaram maior uniformidade no perfil comparada aos Cambissolos. Apesar da maior variação no estoque de COT no perfil dos Cambissolos, o coeficiente de variação entre os locais de coleta foi menor na classe dos Latossolos. A classe de solo com maior estoque foi o Organossolo com $366 \pm 2,08$ Mg ha⁻¹ em 0 - 1 m de profundidade e em contraste a classe com o menor estoque por unidade de área foi o Neossolo com $33 \pm 0,19$ Mg ha⁻¹. Os estoques de COT para os Latossolos nesse estudo foram superiores aos reportados por Paiva (2007) para essa classe na Região de Brasília, DF, que encontraram 135,6 Mg ha⁻¹ e 160,6 Mg ha⁻¹, respectivamente. Essa diferença pode ser atribuída ao clima mais ameno da Região de estudo, que possibilita maior conservação da matéria orgânica (Sá et al., 2008). Dieckow et. al (2007) reportaram para Argissolos na cidade de Eldorado do Sul no Rio Grande do Sul 142,87 Mg ha⁻¹ de COT

e que corroboram os obtidos nesse estudo, que foram de $131 \pm 0,48 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a classe dos Argissolos.

A distribuição espacial dos estoques de COT do CN sobressai ao SPD-11 e se assemelha ao SPD-20 (Figura 14).

A soma do estoque de N de todas as classes de solos (considerando 0 - 1 m de profundidade e a superfície total ocupada por classe de solo) sob CN foi de $13,64 \pm 0,06$ Tg. Para o SPD-11 e SPD-20 foi de $12,19 \pm 0,07$ e $12,33 \pm 0,07$ Tg de N respectivamente.

A média de estoque de N por classes de solos em CN foi $10,5 \pm 0,25$ Mg ha⁻¹ para 0 - 1 m de profundidade. A classe de solo que apresentou maior estoque de N foi o Organossolo com $17,12 \pm 0,42$ Mg ha⁻¹ seguida pelos Cambissolos muito argilosos, com $14,35 \pm 0,22$ Mg ha⁻¹. Em contraste a classe de solo com o menor estoque de N foi o Neossolo com $2,76 \pm 0,29$ Mg ha⁻¹ para menos de 30 cm profundidade. A comparação entre os Latossolos e os Cambissolos em CN revelou que os Latossolos contem maior estoque de N que os Cambissolos embora a área ocupada com estes seja maior do que os Latossolos. A figura 15 apresenta os mapas com a espacialização dos estoques de N.

Os estoques são maiores no CN e menores no SPD-11 e estão aumentando com o passar do tempo de adoção de SPD.

A soma dos estoques de N das classes de solos em SPD-11 (considerando a superfície total ocupada por classe e em 0 - 1 m de profundidade) foi de $12,19 \pm 0,07$ Tg. Somente os Cambissolos e os Latossolos representam cerca de 70% desse valor (Cambissolos = 35,91%; Latossolos = 33,71%).

Conclusões:

- O estoque de COT e N por unidade de área na profundidade de 0 - 1 m em cada classes de solo obedeceu a seguinte sequência: Organossolos > Nitossolos > Cambissolos > Latossolos > Gleissolos > Argissolos > Neossolos > Afloramento de rocha;
- A textura teve a maior influência no estoque de COT e N. Os solos com textura muito argilosa apresentaram maior estoque de COT e N do que os solos com textura argilosa e média;
- A soma do COT armazenado na profundidade de 0 - 1 m de todas as classes de solos com SPD-11 foi inferior ($210 \pm 0,28$ Tg) aos solos com SPD-20 ($222 \pm 0,23$ Tg);
- A soma do COT armazenado na profundidade de 0 - 1 m de todas as classes de solos, sob campo nativo foi superior em 16% aos solos sob SPD-11 e 12% aos solos sob SPD-20.

Referências Bibliográficas:

- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 24, p. 179-189, 2000.
- AMADO, T.J.C. Seqüestro de carbono em plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. In: CONFERÊNCIA ANUAL DA REVISTA PLANTIO DIRETO, 4., Passo Fundo, 1999. Anais... Passo Fundo: Aldeia Norte, p.44-51, 1999.
- AMADO, T. J. C.; et al. Sequestro de carbono de carbono em sistemas conservacionistas na Depressão Central de Rio Grande do Sul. In: V Reunión bienal de la red latinoamericana de agricultura conservacionista. p.42-43, Florianópolis, 1999. 57p.
- AMADO, T. J.C.; BAYER C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO E., CAMPOS, B.C.; VEIGA, M.; Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. Published online July 6, 2006. Published in *J. Environ. Qual.* 35:1599–1607 (2006).
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, Oxford, v.47, n.2, p.151-163, 1996.
- BATJES, N.; Management Options for Reducing CO₂-Concentrations in the Atmosphere by Increasing Carbon Sequestration in the Soil, International Soil Reference and Information Centre: Wageningen. 1999.
- BAYER, C., Dinâmica da material orgânica em sistemas de manejo de solos. 1994-1995, 240 p. Tese de doutorado em Ciência do Solo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T.J.C., MARTIN-NETO, L., FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research.*, 54: 101-109. (2000).
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; AMADO, T. J. C.; C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. *Geoderma*. 02481- 11 pages, 2005.
- BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J.; A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil & Tillage Research* 91 (2006) 217–226.

- BEARE, M.H.; HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D.C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.777-786, 1994.
- CAMPOS B. C., Dinâmica do Carbono em Latossolo Vermelho sob Sistemas de Preparo de Solo e de Culturas. Tese de Doutorado. 2006, UFSM. 190 p.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. CO₂ emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. *Global Change Biology* 7; 779-787, 2001.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal*, v.66, p.888-896, 2002.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M. C. S.; FELLER, C.; CERRI, C. E.P.; ESCHENBRENNER, V.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B.; Gases do Efeito Estufa e Estoques de Carbono nos Solos: Inventário do Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 22, n. 1, p. 235-246, jan./abr. 2005.
- BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.54, p.382-389, 1999.
- CAMPOS, B. C. Dinâmica do Carbono em Latossolo Vermelhos Sob Sistemas de Preparo de Solo e de Culturas. Tese de Doutorado, 2006, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Santa Maria-RS.
- CANALLI, L. B. S., Decomposição de Resíduos Culturais e sua Contribuição nos Macroagregados e na Fração Lável da Matéria Orgânica do Solo no Sistema Plantio Direto. 2009. Tese de doutorado, UFPR, 109 p.
- CERRI, C. C.; VERNOUNX, M.; CERRI, C. E. P.; FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use and Management*, Oxford, v. 20, p. 248-254, 2007.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo* 23:425-432, 1999.
- COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J.; Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Fev 2008, vol.32, no.1, p.323-332.
- DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:473-480, 1997.
- DICK, W.A. Organic, nitrogen and phosphorus concentrations and pH profiles as affected by tillage intensity. *Soil Science Society of America Journal*, v.47, p. 102-107, 1983.
- DICK, W.A., BLEVINS, R.L., FRYE, W.W., PETERS, S.E., CHRISTENSON, D.R., PIERCE, F.J., VITOSH, M.L. Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern corn belt. *Soil & Tillage Research*, 47: 235-244. (1998).
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen

- fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Tillage Research*. 1- 9, 2004.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influence by long-term no-till cropping systems and N fertilization and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization. *Plant and Soil* 268: 319-328, 2005.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influence by land use, cropping and N fertilization, assessed by CPMAS13 C NMR spectroscopy. *European Journal of Soil Science*, 56, 705-715, dezembro 2005.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J., KNICKER, H., BAYER, C., DICK, D. P., KÖGELKNABNER. Comparasion of carbon an nitrogen determination methods for samples of a Paleudult subjected to No-Till cropping systems. *Sci. Agric. Piracicaba, Brasil*, v.64, n.5, p.532-540, September/October 2007.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: University of Hawaii Press, NifTAL Project, 1989. p.33-67.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.412, 1999.
- EMBRAPA. SNLCS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Curitiba, 1984. 791 p. (Boletim Técnico, 57).
- FEARNSIDE, P. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonia*, vol.36, nº 3, Manaus, 2006.
- FIDALGO, E.C.C.; BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; MADARI, B.E.; COELHO, M.R.; MOURA, I.B.; LIMA, C.X. Estoque de Carbono nos Solos do Brasil. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos. Dados Eletrônicos*. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Acesso em 10 dez. 2007, site: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>.
- IPCC/UNEP/OECD/IEA. 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories: Reporting Instructions (Vol. 1); Workbook (Vol. 2); Reference Manual (Vol. 3). Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.
- IPCC. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. 4. Agriculture, forestry and other land uses. Available at www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm (verifi ed 14 Feb. 2009). Inst. For Global Environ. Strategies, Hayama, Japan.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The physical science basis*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

- KERN, J.S., JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 200-210. (1993)
- LAL, R.; LOGAN, T.J. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Ed.) *Soil management greenhouse effect*. Boca Raton: CRC Press, 1995. p.293-307.
- LAL, R., KIMBLE, J., FOLLETT, R., Soil properties and their management for carbon sequestration. USDA, Natural Resources Conservation Services, National Soil Survey Center, Lincoln, NE (1997) 150pp.
- LAL, R. Soil Carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004, 123: 122.
- LAL R. Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbon pools. *Energy Environ. Sci.*, 2008, 1, 86 – 100.
- LETTENS, S.; ORSHOVEN, J. V.; WESEMAEL, B. V.; VOS, B.; MUYS, B. Stocks and fluxes of soil organic carbon for landscape units in Belgium derived from heterogeneous data sets for 1990 and 2000. *Geoderma*, Amsterdam, v 127, p.11-23., 2004.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 28, p. 175-187, 2004.
- PAIVA, A. O., FARIA, G. E., Estoque de carbono do solo sob cerrado sensu stricto no Distrito Federal, Brasil. *Revista Trópica – Ciência Agrárias e Biológicas*. V.1, n. 1, p. 59, 2007
- REICOSKY, D.C., LINDSTROM, M.J. Impact of fall tillage on short-term carbon dioxide flux. *Advances in Soil Science – Soils and Global Change*. Chapter 14, p.177-187. (1995).
- RAMOS, A. F., SANTANA, A. C., PRIETO, C. C., MATIAS, L. F., Mapeamento do Uso da Terra nos Campos Gerais. *Uso da Terra* In: MELO, M.S; MORO, R.S. GUIMARÃES, G.GB. (Eds.) in. *Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná*. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007, p. 85-92.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. & FEIGL, B., Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* v.65:1486-1499, 2001b.
- SÁ, J. C. M., CERRI, C. C., PICCOLO, M. C., FEIGL, B. E., SANTOS, J. B., FORNAZARI, A., SA, M. F. M., SEGUY, L., BOUZINAC, S., VENSKE-FILHO, S. P., PAULLETTI, V., NETO, M. S. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. *Revista Plantio direto*, Passo Fundo-RS, p 45 - 61, 2004.
- SÁ, J. C. M.; LAL, R., Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Research* 103 (2009) 46–56.
- SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. Castro: Fundação ABC, p. 96, 1993.

- SÁ, J. C. M., Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto. Tese de Doutorado, 2001, 141p Esalq, Piracicaba.
- SÁ, J. C. M., Dinâmica da Matéria Orgânica nos Campos Gerais. In: Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais./ Gabriel de Araújo Santos (Ed.)... [et al.] – 2.ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metropolo, 2008.
- SALL, J.; CREIGHTON, L.; LEHMAN, A. JMP start statistics: aguide to statistics and data analysis using JMP and JMP IN software. 3rd ed. Cary: Duxbury Press, 2005. 580p.
- SÁ, M.F.M. Os solos dos Campos Gerais. In: MELO, M.S; MORO, R.S. GUIMARÃES, G.GB. (Eds.) in. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007, p.73-83.
- SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; DENARDIN, J. E. Potencial de seqüestro de Carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 8 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 78). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do78.htm
- SANTOS, J. B., Alterações no estoque e Taxa de seqüestro de carbon em um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo. 2004 – 2006, 120 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Área de Concentração em Agricultura. – Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; SPERA, S. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 27, p. 545-552, 2003.
- SHRESTHA, R. K., LAL, R., PENROSE, C. Greenhouse Gas Emissions and Global Warming Potential of Reclaimed Forest and Grassland Soils. Published in: Journal Environmental Quality. 38:426-436 (2009). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. Published online 6 February 2009.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influencia do sistema de manejo no seu nível de fertilidade. Revista Brasileira Ciência do Solo, v.9, p.249-254, 1985.
- SIX, J., E.T. ELLIOTT, AND K. PAUSTIAN. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1350-1358. 1999.
- SIX, J., CONANT, R.T., PAUL, E.A. & PAUSTIAN, K., Stabilization mechanisms of protected versus unprotected soil organic matter: implications for C-saturation of soils. Plant and Soil. Plant and Soil, 241:155-176, 2002.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33:141-163, 1982.
- TORNQUIST, C. G.; PHILLIP, W.; GASSMAN, B.; MIELNICZUK, J.; GIASSON, E.; TODD, A. C. Spatially explicit simulations of soil C dynamics in Southern Brazil: Integrating century and GIS with i_Century. Geoderma 150 (2009) 404–414.

- WANG, W. J.; DALAL, R. C.; MOODY, P. W.; SMITH, C. J. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biology and Biochemistry*, v.35, p.273-284, 2003.
- WIDER, R.K.; LANG, G.E.; A Critique of the Analytical Methods Used in Examining Decomposition Data Obtained From Litter Bags. *Ecology*, Vol. 63, N° 6 (Dec., 1982), pp. 1636-1642. Ecological Society of America. URL: <http://www.jstor.org/stable/1940104>.

7. FRAÇÕES DE CARBONO PARTICULADO, LÁBIL E ASSOCIADO AOS MINERAIS EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS E TEMPO DE ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO

Resumo – O interesse da comunidade científica sobre os fatores que mitigam a emissão de gases de efeito estufa é cada vez maior, e o Sistema Plantio Direto (SPD) tem-se destacado como alternativa no setor agrícola contribuindo na mitigação de gases de efeito estufa. Da década de 70 a meados da década de 80 do século passado, a Região dos Campos Gerais do Paraná, com a implantação do SPD, passou de fonte a dreno de dióxido de carbono; desde então, o SPD tem restaurado o carbono do solo. Na avaliação da contribuição do SPD na melhoria da qualidade do solo, a fração lábil da matéria orgânica (MOS) tem se destacado por ser a fração da MOS que apresenta resposta mais rápida às mudanças nas práticas de manejo do solo e pela sua contribuição no suprimento de nutrientes às plantas. O objetivo deste trabalho foi levantar os estoques de carbono (C) nas frações lábeis da MOS, em Sistema Plantio Direto com mais (SPD-20) e menos (SPD-11) de 15 anos de adoção, na Região dos Campos Gerais do Paraná.

A coleta do solo foi realizada em quatro propriedades nos municípios de Ponta Grossa e Tibagi. Para o levantamento dos estoques de C foram selecionados Latossolos de contrastantes texturas e tempo de adoção do SPD: dois Latossolos textura média e dois Latossolos textura muito argilosa, ambos com mais e menos de 15 anos de SPD. Em cada solo foram coletadas nove amostras nas seguintes profundidades: 0-10, 10-20, 20-40 e 40-100 cm, sendo a profundidade de 40-100 cm subdividida, com o uso de cálculos, para 40-70 e 70-100 cm para estimar-se o estoque de C. Em cada um destes pontos, nas profundidades citadas

foram coletadas amostras deformadas, para as análises químicas, de granulometria do solo e de fracionamento granulométrico da MOS, e amostras indeformadas para o cálculo da densidade do solo.

Os resultados desse estudo demonstraram que camadas superficiais do solo foram as que tiveram o maior acúmulo de carbono e os estoques de C também foram maiores na fração menor que 53 μm , sendo que os estoques de C lábil e estável foram maiores nos solos com maior conteúdo de argila, demonstrando a habilidade dos solos argilosos no armazenamento de C.

Foi observado que os estoques de C tanto na fração lábil e particulada (Carbono orgânico Lábil – COL e Carbono Orgânico Particulado - COP) quanto na fração estável (Carbono Orgânico Associado aos Minerais - COAM) diminuem em profundidade havendo exceções nas frações lábeis para solos argilosos.

O maior seqüestro de C ocorreu o compartimento particulado comparado ao estável, demonstrando que a maior influencia dos SPD ocorre nesse compartimento.

Houve um aumento do Índice de Labilidade nos solos sob SPD, observado pelo aumento com o aumento do tempo de adoção do SPD.

Palavras-chave: Frações granulométricas da matéria orgânica, fração lábil da matéria orgânica, Sistema Plantio Direto, seqüestro de carbono, resíduos culturais, Índice de Labilidade.

CARBON LABILE, PARTICULATED AND ASSOCIATED TO THE MINERALS FRACTIONS IN OXISOLS UNDER DIFFERENT SOIL TEXTURES AND DURATION OF NO-TILLAGE SYSTEM

Abstract - The interest of the scientific community about the factors that mitigate the emission of greenhouse gases is increasing, and the No-Tillage System (NTS) has emerged as an alternative in the agricultural sector contributing to the mitigation of greenhouse gases (Bayer et al., 2006; Bernoux et al., 2006; Cerri et al., 2007; Sá and Lal, 2009). Of the 70's to mid 80's of last century, the region of Campos Gerais, Paraná, with the implementation of the SPD, has passed from the fount to a drain of carbon dioxide (Bernoux, 2001); since then, the NTS has restored the soil carbon. In assessing the contribution of the NTS on the improvement of the soil quality, the labile fraction of the soil organic matter (SOM) has been highlighted for being the fraction of SOM that has the fastest response to the variations in the practices of soil management and for its contribution on the provision of nutrients to the plants. (Dieckow et al., 2009; Sa and Lal, 2009). The objective of this study was to raise the stocks of carbon (C) in the labile fractions of SOM, in the NTS with more and less than 15 years of adoption, in the region of Campos Gerais, Paraná.

The collection of soil was performed in four properties in the cities of Ponta Grossa and Tibagi. For the survey of C stocks were selected Oxisols of contrasting textures and time of SPD adoption: two Oxisols with average texture and two Oxisols with a very clayey texture, both with more and less than 15 years of NTS. In each soil, nine samples were collected in the following depths: 0-10, 10-20, 20-40 and 40-100 cm, being the depth of 40-100 cm subdivided, with the use of calculations, for 40-70 and 70 -100 cm to estimate the

stock of C. In each of these points, at depths cited, were collected undisturbed samples, for the chemical analysis of soil particle size and grain size fractionation of SOM, and undisturbed samples for the calculation of density.

The results of this study showed that topsoil were the ones that had the higher carbon concentration and C stocks were also higher in the fraction less than 53 μm , and that the stocks of stable and labile C were higher in soils with a higher concentration of clay. Demonstrating in these soils increased storage capacity of C.

It was observed that the C stocks in both labile and particulate fraction (Labile Organic Carbon - LOC and Particulate Organic Carbon - POC) and in the stable fraction (Organic Carbon Associated with Minerals - OCAM) decrease in depth and that in soils with higher content of clay may accumulate C in the labile fractions at greater depths, depending on factors of soil formation or illuviation processes.

In the largest C sequestration occurred the compared particulated compartment to the stable, demonstrating that the major influence of the NTS occurs in this compartment.

There was an increase in the C instability in soils under NTS, observed by the increase in the, with an increase of the adoption time of the NTS.

Key-Words: Particulated fractions of the organic matter, lábil fraction of the organic matter, No-Tillage System, sequest of carbon, residues cropping, Lability Index.

Introdução

Os diferentes estágios de decomposição da matéria orgânica processam-se em diferentes compartimentos ou “pools”, e as mudanças nestes compartimentos são influenciadas pelo manejo (Duxbury et al., 1989).

A fração lábil da matéria orgânica do solo é de grande interesse por apresentar resposta mais rápida às mudanças nas práticas de manejo do solo e por sua contribuição no suprimento de nutrientes (Dieckow et al., 2005; Bayer et al., 2006; Santos, 2006; Dieckow et al., 2009; Sá e Lal, 2009).

O SPD tem-se destacado como alternativa no setor agrícola contribuindo na mitigação de gases de efeito estufa (Bernoux et. al, 2005; Bayer et. al, 2006; Cerri et. al, 2007; Sá e Lal, 2009). Em estudos realizados em solos sob diferentes tipos de manejos no Estado do Paraná, encontram-se aumentos significativos no C total do solo (0-10 cm) sob SPD, principalmente nas frações granulométricas mais grosseiras em comparação ao sistema convencional (Sá et al., 2001, Pavei, 2005, Santos, 2006, Siqueira Neto, 2006, 2009 a, 2009 b).

Bonde (1992) em Latossolos sob Plantio Convencional (PC) mostrou que o tempo de retorno do C aproximadamente 60 dias em dois solos sob clima tropical enquanto no solo sob clima temperado foi de dois anos. Observou que o reservatório ativo de C representou 21 a 25% do C total em condições tropicais, enquanto na condição temperada situou-se em 6 %. Portanto, nos solos sob clima tropical, o tempo de retorno do C foi 13,3 vezes mais rápido e o reservatório ativo foi 3,5 a 4,2 vezes maior do que em regiões de clima temperado. Este e outros exemplos têm mostrado a magnitude dessas diferenças e a importância de estudos que

elucidem os mecanismos envolvidos na compartimentalização da MOS em diferentes sistemas de manejo, principalmente nas regiões tropicais.

Em condições tropicais, o compartimento ativo de C tem duas funções, além do suprimento de nutrientes age como fornecedor de compostos orgânicos que atuam como agentes de agregação do solo e na retenção de cátions (Oades et al., 1988; Duxbury et al., 1989). Outra questão está relacionada com o tipo e a quantidade de compostos orgânicos liberados durante o processo de mineralização dos resíduos culturais. Kuo et al. (1997) verificaram que coberturas de inverno alteraram significativamente o conteúdo de polissacarídeos, destacando a contribuição das leguminosas. Os polissacarídeos constituem os agentes transientes de agregação do solo (Greenland e Oades, 1975) e ao mesmo tempo também constituem a energia prontamente disponível para a biomassa microbiana do solo (Dalal & Henry, 1988). Esses autores avaliaram o efeito do cultivo no conteúdo de polissacarídeos no solo e observaram que na fração leve da MOS, 27 a 43% do COT era devido aos polissacarídeos.

O conhecimento das frações lábeis (COL) e das frações associadas aos minerais (COAM) em classes de solos ainda é escasso. Segundo Canalli (2009), em estudo realizado na Região dos Campos Gerais, a taxa de conversão de vários tipos de resíduos culturais, independente da cultura anterior, foi de 31,3% e o estoque de C-lábil variou de 0,27 a 0,91 Mg ha⁻¹ e a taxa média de conversão da cultura sucessora foi de 0,70 Mg ha⁻¹.

Recentemente, Sá et al. (2009) quantificaram essas frações em diferentes classes de solos ao longo de uma pedossequência típica da Região dos Campos Gerais. Reportaram que em um Latossolo Vermelho localizado na posição de topo da pedossequencia, a fração lábil e a associada aos minerais representaram 28,9% e 71,1% respectivamente, enquanto no

Gleissolo localizado na posição de sopé as mesmas frações representaram 41,2% e 51,8% respectivamente, indicando forte influência da classe de solo.

Sá (2004) destacou que as alterações na MOS são aditivas e ocorrem com o tempo de plantio direto e de acordo com as seguintes fases: a) fase inicial (0 – 5 anos), onde ocorre o rearranjo da estrutura devido à ausência de preparo. Neste estágio, a decomposição dos resíduos aportados é elevada e o acúmulo da MOS ainda é baixo; b) fase de transição (6 -10 anos), inicia o acúmulo MOS; c) fase de consolidação (11 – 20 anos), ocorre o aumento crescente de C e N; d) fase de manutenção (maior 20 anos), ocorre um fluxo contínuo de C e N.

Considerando ainda que estes compartimentos sejam fortemente influenciados pelo sistema de manejo do solo, e que a magnitude dessas alterações indica se o sistema está ou não tendendo para perdas de MOS, torna-se imprescindível o conhecimento do impacto do sistema plantio direto nas frações granulométricas do solo.

OBJETIVO GERAL

Quantificar as frações: lábil, particulada, e as associadas aos minerais em Latossolos com diferentes texturas e espacializar a sua distribuição na área de estudo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o estoque de C e N nas frações lábeis, particuladas e associadas aos minerais na classe dos Latossolos para a comparação aos solos sob SPD-11 e SPD-20;
- Gerar mapas com a espacialização do estoque de C e N em função do tempo de adoção do SPD, usando o SIG;

Material e Métodos

Descrição e localização da Região de estudo

A área de estudo situa-se na macrorregião denominada Campos Gerais do Paraná, e abrangeu cinco municípios: Ponta Grossa, Carambeí, Castro, Palmeira e Tibagi, totalizando uma extensão territorial de aproximadamente 1.531.864 hectares (Figura 1).

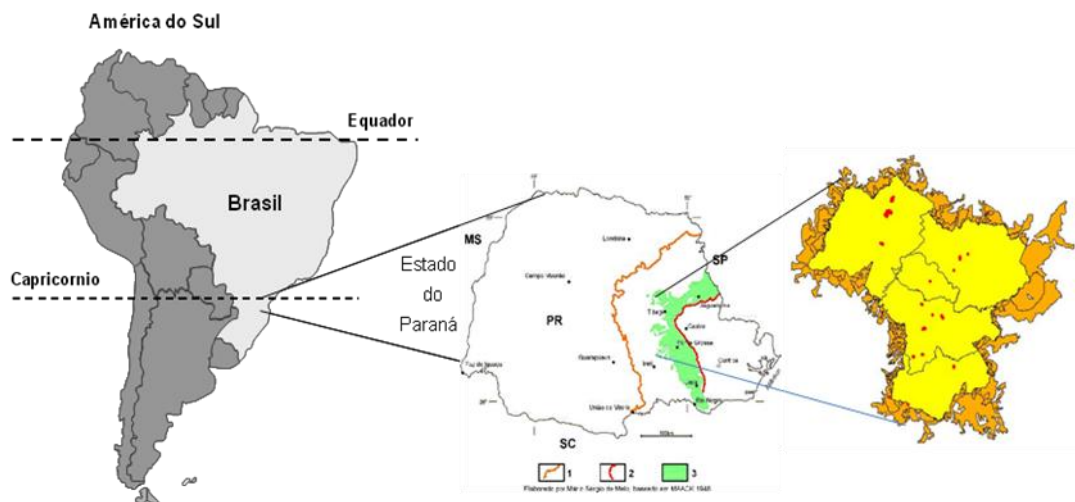


Figura 1. Localização da área de abrangência do inventário dos estoques de C e N (destaque em amarelo) que representa os municípios de Ponta Grossa, Carambeí, Castro, Palmeira e Tibagi.

O clima esta descrito conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Clima da área de estudo.

Clima	Componentes	Municípios amostrados				
		P.Grossa	Carambeí	Castro	Palmeira	Tibagi
	Tipo	Cfb [†]	Cfb	Cfb/ Cfa [†]	Cfb	Cfb/Cfa
	TMAmax ^{††}	24,1 °C	24,1 °C	20,2 °C	24,1 °C	18,6 °C
	TMAmin. ^{†††}	13,3 °C	13,3 °C	27,6 °C	13,3 °C	26,0 °C
	TMA ^{††††}	17,8 °C	17,8 °C	15,8 °C	17,8 °C	13,4 °C
	MAP ^{†††††}	1554 mm	1554 mm	1360 mm	1554 mm	1596 mm

[†] Classificação climática de acordo com Koeppen, ^{††}MTAmax - Temperatura média anual máxima, ^{†††}TMAmin - Temperatura média anual mínima, ^{††††}TMA - Temperatura média anual, ^{†††††}MAP - Média anual pluviométrica.

As localizações, classes de solos e texturas o tempo de adoção do SPD e rotação de culturas das áreas coletadas estão descritas na Tabela 3.

TABELA 3. Localização, classificação dos solos, textura, tempo de adoção do SPD e rotação de culturas.

Municípios	Benchmark	Classificação do solo	Textura	Tempo de adoção do SPD [†]	Rotação de culturas [†]
Tibagi	24	Latossolo Vermelho	Muito argiloso	11 ⁽²⁾ , 15 ⁽²⁾ , 20	So-Tr/M-AP/So-Tr
			Argiloso	11, 12, 20 ⁽²⁾	So-Tr/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az
			Média	12, 13, 15	So-Tr/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az
		Cambissolo	Muito argiloso	11, 12, 15, 20	So-Tr/M-AP/So-Tr
			Argiloso	11, 15 ⁽²⁾ , 20	So-Tr/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az
			Média	13, 20 ⁽²⁾	So-Tr/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az
		Argissolo	Argilosa e Muito argilosa	12	So-Tr/M-AP/So-Tr
Ponta Grossa	15	Latossolo Vermelho	Muito argiloso	10, 23	M-Az/B-Tr/M-Az
			Argiloso	12	M-AP/So-Vs/So-Az
			Média	10, 18, 30	So-AP+Az/M-AP/So-Tr + So-TR/M-AP/So-Tr
		Cambissolo,	Muito argiloso	10, 23	M-Az/B-Tr/M-Az
			Argiloso	12	M-AP/So-Vs/So-Az
			Média	10 ⁽³⁾ , 18 ⁽²⁾ , 30	So-AP+Az/M-AP/So-Tr + M-AP/So-Vs/So-Az + So-Tr/M-AP/So-Tr
Palmeira	3	Argissolo	Sandy clay	20	So-Tr/M-AP/So-Az
		Neossolo	Sandy	12, 25	M-Az/M-AP/M-Az
Carambeí	4	Latossolo Vermelho	Muito argiloso	16	So-Tr/M-AP/So-Tr
			Argiloso	16	So-Tr/M-AP/So-Tr
		Cambissolo	Média	16	So-Tr/M-AP/So-Tr
		Neossolo	Arenosa	9	So-Az/M-Az/So-Az
Castro	2	Organossolo	Muito argiloso	30	M,Az/B,AP/M,Az
			Argiloso	4	So-Tr/M-AP/So-R

[†] So = Soja, TR = Trigo, M = Milho, AP = Aveia Preta, R = Arroz de Sequeiro, Az= Azevêm, Vs= Vicia Sativa. Os números entre parênteses em sobre escrito significam o número de vezes que propriedades com o mesmo tempo, em anos, se repetem.

Histórico da ocupação da Região e a mudança do uso da terra

Anteriormente à conversão da paisagem regional para fins agrícolas, a vegetação natural era constituída principalmente de campos limpos e campos cerrados naturais, sendo que atualmente, apenas poucos fragmentos desta vegetação encontram-se preservados. Em 1971, no Estado do Paraná, foram implantadas as primeiras pesquisas em Plantio Direto no Brasil. A partir do crescimento do SPD houve um grande impulso em direção a uma agricultura economicamente viável e ecologicamente sustentável. Atualmente, o uso do SPD possibilita o crescimento e desenvolvimento da agricultura na Região dos Campos Gerais do Paraná, que é predominantemente de grãos como soja, milho, trigo e feijão.

Distribuição das classes de solos na Região dos Campos Gerais do Paraná.

As ordens de solos de maior ocorrência na área de estudo são os Cambissolos (33,87%); os Latossolos (28,13%); os Neossolos (16,61%); os Argissolos (12,52%); os Gleissolos (5,0%); os Organossolos (1,57%); os Nitossolos (1,46%), havendo ainda ocorrência de Afloramentos de rocha (0,84%), mostrado na Tabela 4 e Figura 2.

Tabela 4. Classes de solos da Região de estudo.

Classes de solos	Área total de cada classe de solo	% da classe de solo	Superfície da classe de solo
	Ha	%	%
Latossolo, Textura muito argilosa	322.934	21.08	
Latossolo, Textura argilosa	70.892	4.63	
Latossolo, Textura média	37.076	2.42	28.13
Cambissolo, Textura muito argilosa	19.275	1.26	
Cambissolo, Textura argilosa	425.744	27.79	
Cambissolo, Textura média	73.850	4.82	33.87
Argissolo, muito argiloso	55.827	3.64	
Argissolo, Textura média e arenosa	135.924	8.87	12.52
Organossolo	23.983	1.57	1.57
Neossolo	254.493	16.61	16.61
Nitossolo (Não Coletado)	22.421	1.46	1.46
Gleissolo (Não Coletado)	76.568	5.00	5.00
Área com ocorrência de Afloramento de Rocha (Não Coletado)	12870	0.84	0.84

Fonte: Mapa gerado no ArcView baseado no mapa de solos do Paraná (EMBRAPA, 1984) em escala 1:600.000.

A estimativa e a espacialização dos estoques de C e N das classes de solos foram realizadas com base na etapa 1 do manual do IPCC (1997), preconizando o agrupamento dos solos de acordo com zonas climáticas, conforme os critérios a seguir: os estoques de C do solo foram agrupados de acordo com a textura: média, argilosa e muito argilosa (classificação textural Embrapa, 2006) e o tempo de adoção de plantio direto, de acordo com a escala de evolução do SPD reportada Sá (2004). Os dados referentes ao estoque de C e N foram plotados no mapa de solo (Figura 2) atualizado e digitalizado pela Embrapa (2007), gerando os mapas com a espacialização de estoque de C e N da região de estudo. O cálculo do estoque de C e N se baseou nos dados do conteúdo de COT e N-total em g kg^{-1} , transformados de kg para Mg, na densidade do solo em g cm^{-3} e transformada para Mg m^{-3} e no volume da

profundidade de amostragem (VPA) em m^3 . Os resultados finais foram expressos em Mg ha^{-1} para cada profundidade amostrada, conforme o exemplo a seguir:

$$\text{Estoque de C (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{COT (kg Mg}^{-1}\text{)} \times \text{DS (Mg m}^{-3}\text{)} \times \text{VPA (m}^3\text{)}$$

Exemplo de cálculo do estoque de COT na camada de 0 – 10 cm de profundidade

$$\text{Conteúdo de COT} = 30 \text{ g kg}^{-1} \equiv 30 \text{ kg Mg}^{-1}$$

$$\text{Densidade do solo (DS)} = 1,42 \text{ g cm}^{-3} \equiv 1,42 \text{ Mg m}^{-3}$$

$$\text{Volume da Profundidade Amostrada (VPA)} = 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times 0,1 \text{ m} = 1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

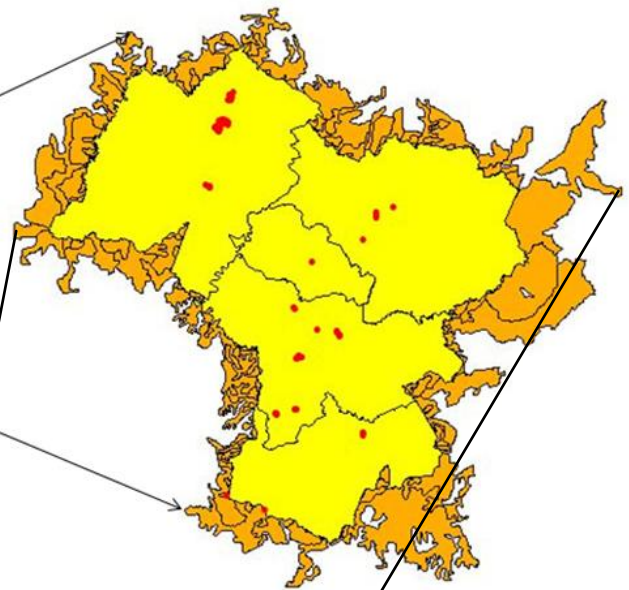
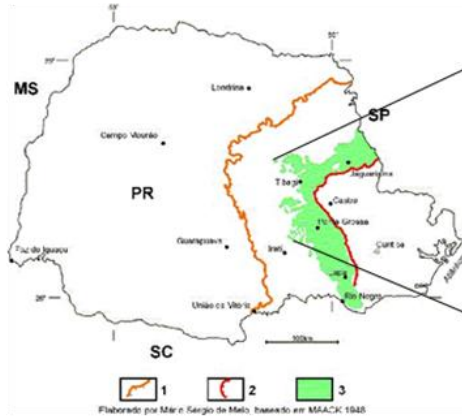
$$\text{Estoque COT} = 30 \text{ kg Mg}^{-1} \times 1,42 \text{ Mg m}^{-3} \times 1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 42600 \text{ kg ha}^{-1} \equiv 42,6 \text{ Mg ha}^{-1}$$

O estoque total de COT e N para a profundidade de 0 – 1 m, foram calculado através do somatório dos valores obtidos em cada camada amostrada.

Figura 2. Mapa das Classes Solos da área de estudo compreendida na Região dos Campos Gerais do Paraná gerada a partir do banco de dados fornecidos pela Fundação ABC.

Seleção das áreas e construção da base de dados

A seleção dos locais de amostragem foi baseada no banco de dados da Fundação ABC que é constituído por mapas de solo em escala 1:600.000 (levantamento semi-detalhado – EMBRAPA, 1984), e por levantamentos detalhados de solos em nível de propriedade na escala 1:10.000, realizados pela EMBRAPA para a Fundação ABC. Foi considerado também o histórico de uso da terra, com o detalhamento do sistema de manejo de solo. A espacialização das informações geradas com o sistema de informação geográfica (SIG) produziu os mapas desse trabalho. As coletas foram feitas nos municípios de Ponta Grossa, Palmeira, Castro, Carambeí e Tibagi. A área foi delimitada com o uso do *software ArcView* (Figura 1 e 3), sendo usados os limites políticos dos cinco municípios do estudo, acrescidos pelas áreas das unidades de solos que ultrapassavam os limites políticos destes municípios, contabilizando uma área total de 1.531.864 ha.



Afloramentos de Rocha



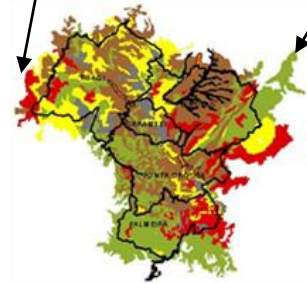
Organossolos



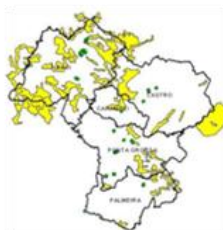
Cambissolos



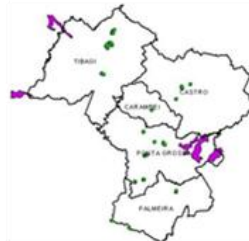
Latossohos



Neossolos



Nitossolos



Gleissolos



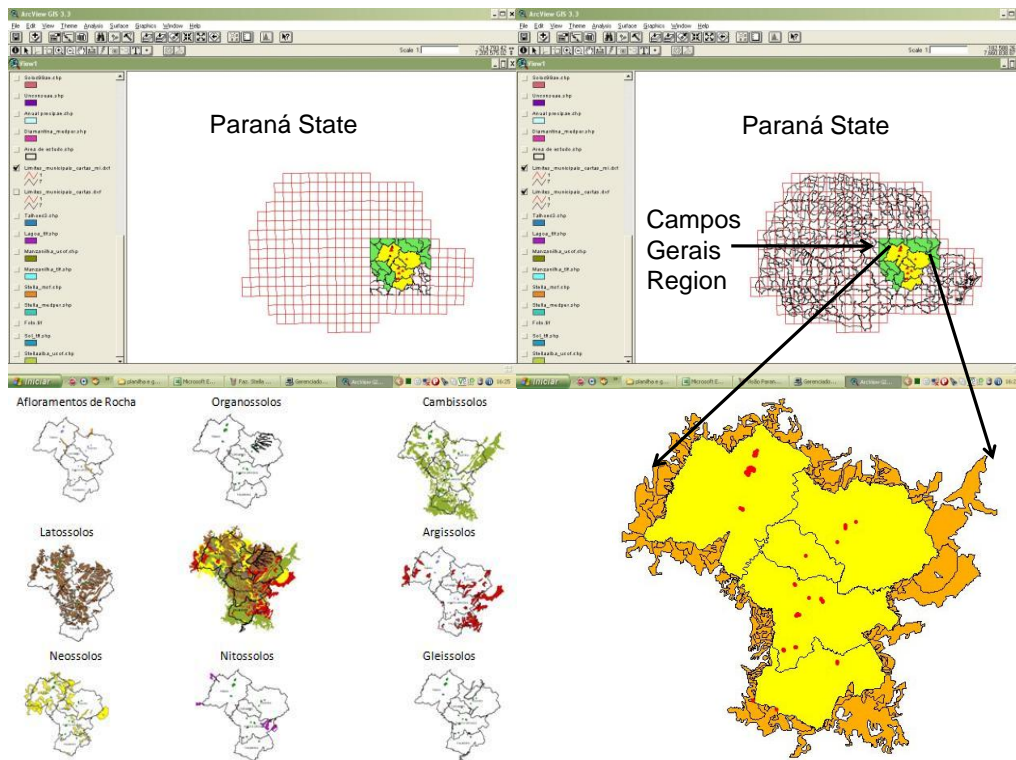


Figura 3. Ilustração do procedimento de seleção das classes de solos na Região dos Campos Gerais do Paraná com base no SIG.

De acordo com a metodologia descrita pelo IPCC (1997), são necessários no mínimo 6 tipos de solos para representar com certo grau de precisão uma região. Dessa forma foram selecionadas as classes de solos, em nível de ordem, mais representativas da Região dos Campos Gerais do Paraná, conforme Tabela 4: as classes de solo com maior extensão (Latosolos e Cambissolos) e as classes de solos que também estão em uso agrícola em SPD com os tempos maior de 15 anos e menor de 15 anos de adoção do sistema: Argissolos, Neossolos e Organossolos.

Dessa forma, foram selecionados os Latossolos que representam 28,13% os Cambissolos que representam 33,87% e os Argissolos, Neossolos e Organossolos que representam 30,70% da área total. Nas duas classes de solos de maior expressão Latossolos e Cambissolos – 62 % de área total foram selecionadas áreas com textura média, argilosa e muito argilosa com tempo de adoção do SPD maior e menor de 15 anos de além de áreas em campo nativo (Figura 4).

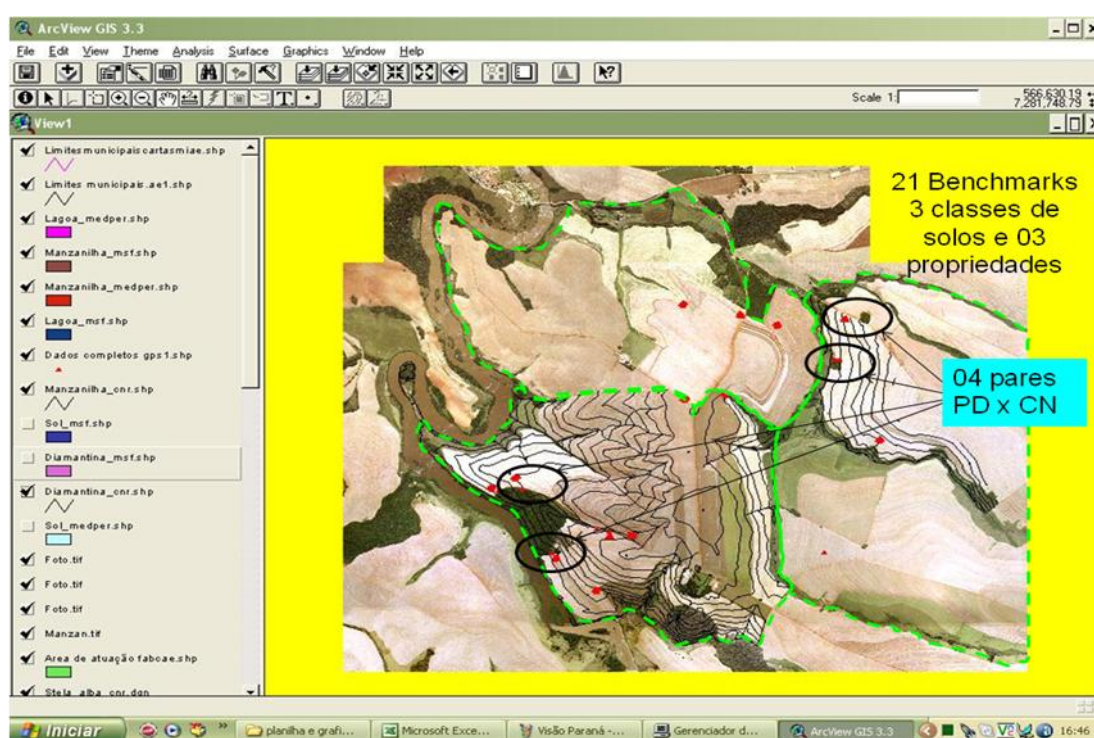


Figura 4. Representação da localização dos pontos de amostragem nas áreas selecionadas pelo banco de dados da Fundação ABC. Pares de amostras com o SPD e o solo sob campo nativo como referência.

As classes de solos selecionadas nesse estudo abrangeram 92,7% da área total. Para as classes que não foram coletadas foi usado um valor referenciado conforme descrito a seguir: Para os Afloramentos de Rocha não foi atribuído valor, para os Nitossolos foi atribuído os

valores dos Latossolos de textura argilosa e para os Gleissolos normalmente encontrados na transição entre Cambissolos e Organossolos foi atribuído os menores valores das três texturas dos Cambissolos.

A média das áreas selecionadas com o tempo de adoção do SPD com menos de 15 anos foi de 11 anos (SPD-11) e a média das áreas com mais de 15 anos foi de 20 anos (SPD-20). O critério de escolha das áreas com menos e mais de 15 anos de SPD foi baseado na escala de evolução do SPD proposta por Sá (2004) e desenvolvida com base nas transformações dos compartimentos da MOS e de atributos do solo. Essa escala destaca que as alterações são aditivas e ocorrem com o passar do tempo e propões 4 fases: a) fase inicial (0 – 5 anos): rearranjo da estrutura devido à ausência de preparo; b) fase de transição (6 – 10 anos): inicia o acúmulo de palhada, MOS e de fósforo (P); c) fase de consolidação (11 – 20 anos), ocorre o acúmulo de palha e aumento crescente de C; d) fase de manutenção (> 20 anos), elevado acúmulo de palha na superfície, fluxo contínuo de C e N, elevado acúmulo de P na camada superficial do solo.

Procedimento de coleta das amostras de solo

Para a identificação das classes de solos e definição dos locais de amostragem foram utilizados os mapas de solo das propriedades em escala de 1:10.000 elaborados pela EMBRAPA floresta e cedidos pela Fundação ABC (Figura 5). Para cada classe de Latossolo e Cambissolo foram coletadas três propriedades rurais diferentes e um local para Argissolo, Organossolo e Neossolo.

No campo, após identificação da classe de solo, marcou-se a área de referência (Benchmark) conforme Figura 5.



Figura 5. Localização da área de referência “Benchmark” nos talhões das áreas de estudo para elaboração do inventário dos estoques de C e N na Região dos Campos Gerais do Paraná.

As dimensões de cada “Benchmark” foram de 30 x 30 m e em cada um deles foram feitas nove trincheiras assim localizadas: uma em cada extremidade do quadrado, uma no centro e as outras em forma de quadrado em torno do ponto central, formando um X, e procurando-se a manter a equidistância dos cantos e centro. Nestas trincheiras foram coletadas: 1) as amostras indeformadas, para a determinação da densidade do solo, utilizando-se anéis de aço inox com diâmetro e altura de 5 cm, conforme, Blake & Hartge (1986), 2)

amostras deformadas para a determinação da textura, do conteúdo de C e N, além das análises químicas para caracterizar a fertilidade do solo em cada “Benchmark”.

Fracionamento Granulométrico da MOS.

A metodologia descrita de forma sucinta foi originalmente desenvolvida por Feller (1994) e adaptada por Sá et al 2001 e Santos, 2006.

Procedimento de separação das frações:

A separação das frações granulométricas foi realizada em amostras deformadas secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e peneiradas em tamiz de 2 mm. Em um frasco plástico de 1L pesou-se 40 g da amostra e adicionou-se 100 mL de H₂O deionizada e 0,75 g de hexametáfosfato de sódio e três bolas de vidro. Após ligeira agitação manual de 15 segundos, os frascos foram mantidos em geladeira durante 16 hs para aumentar a retração e as fissuras nos microagregados. Após esse período, os frascos foram agitados durante quatro horas em um agitador horizontal na frequência de 100 rpm. Após esse procedimento realizou-se a separação das três frações: 2000 – 53 μ m, 250 - 53 μ m e < 53 μ m. Em cada fração foi determinado o C e N total. Os detalhes da metodologia foram reportados por Sá et al. (2001).

Resultados e Discussão

Os resultados dos estoques de C e as respectivas porcentagens de C nas frações lábil (COL), particulada (COP) e associada aos minerais (COAM) estão na Tabela 3, na qual observamos que os estoques do carbono orgânico total COT foram maiores nos solos mais argilosos comparados aos de textura mais fina, provavelmente pela maior proteção física e química da matéria orgânica (Parfitt et al, 1997; Bayer et al, 2001, Amado et al, 2006). As diferenças entre os exemplares escolhidos ocorreram principalmente em função do manejo, mineralogia do material de origem e de alguma variação microclimática relacionada às diferenças de altitude em torno 200 m entre os municípios de Ponta Grossa (900 m) e Tibagi (700 m).

Tabela 3. Estoque e porcentagem do C orgânico lábil (COL, 250 – 2000 μm), particulado (COP, 53 – 250 μm) e associado aos minerais (COAM, < 53 μm) em relação ao C orgânico total em Latossolos com menos de 15 anos (< 15 anos) e mais do que 15 anos (> 15 anos) sob plantio direto na Região dos Campos Gerais do Paraná.

Classe Textural	Profundidade de coleta	SPD -11			SPD-20		
		COL [†]	COP ^{††}	COAM ^{†††}	COL	COP	COAM
	Cm	----- Mg ha ⁻¹ -----					
Média	0 – 10	1,79	1,58	7,26	0,96	2,05	11,28
	10 – 20	2,04	2,16	16,84	0,75	1,01	7,93
	20 – 40	1,98	1,70	17,70	1,48	2,03	12,73
	40 – 70	1,97	1,78	14,14	1,81	3,07	14,51
	70 – 100	1,73	1,36	22,71	2,01	3,74	9,04
Muito argilosa	0 – 10	0,80	7,40	25,70	0,19	10,01	29,21
	10 – 20	0,50	5,01	23,28	0,22	5,54	17,82
	20 – 40	3,20	4,81	30,23	0,57	9,41	28,58
	40 – 70	0,21	3,45	38,28	0,29	4,38	23,29
	70 – 100	0,15	2,63	33,50	0,07	1,55	17,24
		----- % -----					
Média	0 – 10	16,87	A 14,8 a	68,3 B	6,7 B	14,3 a	78,9 A
	10 – 20	9,7	A 10,2 a	80,0 A	7,7 A	10,4 a	81,9 A
	20 – 40	9,3	A 8,0 a	82,8 A	9,1 A	12,5 a	78,4 A
	40 – 70	11,0	A 9,9 b	79,0 A	9,3 A	15,8 a	74,8 A
	70 – 100	6,7	A 5,3 b	88,0 A	13,7 A	25,3 a	61,1 B
Muito argilosa	0 – 10	2,5	A 21,8 a	75,7 A	0,5 A	24,3 a	75,1 A
	10 – 20	1,9	A 17,4 a	80,8 A	1,0 A	23,0 a	76,0 A
	20 – 40	10,3	A 12,3 a	77,4 A	1,6 A	23,0 a	75,4 A
	40 – 70	0,6	A 8,2 b	91,2 A	1,1 A	14,6 a	84,3 B
	70 – 100	0,5	A 7,2 a	92,3 A	0,4 A	7,5 a	92,0 A

[†]COL- Carbono Orgânico Lábil, correspondente a fração entre 2000 – 250 μm . ^{††} COP - Carbono Orgânico Particulado, correspondente a fração entre 250 - 53 μm ; . ^{†††} COAM- Carbono Orgânico Associado aos Minerais, correspondente a fração menor que 53 μm . As letras maiúsculas referem-se à comparação entre a fração COL (na linha) nos solos sob SPD-11 e SPD-20. As letras minúsculas referem-se à comparação entre a fração COP para os solos sob SPD-11 e SPD-20. As letras maiúsculas em negrito e itálico referem-se à comparação entre a fração COAM para os solos sob SPD-11 e SPD-20.

Nos solos sob SPD-11 o COL e o COP foram maiores na superfície, diminuindo em profundidade tanto nos solos de textura média quanto nos de textura muito argilosa (Tabela 3) dados que corroboram os obtidos por Amado (2006). No estudo desenvolvido por Sá e Lal

(2009) foi constatado aumento significativo nas frações lábeis da MOS com o tempo de plantio direto, demonstrando que esses solos ainda não haviam atingido o estágio de estabilidade (*steady state*) visto que os compartimentos lábeis, precursores do C estável ainda estavam sofrendo influência do sistema de manejo (Sá et al., 2001).

Entretanto com o aumento do tempo de plantio direto, nos solos de textura média, o COL e o COP aumentaram em profundidade demonstrando que o tempo de adoção do SPD afeta diretamente os estoques de C da fração lábil e particulada e que esses acréscimos são maiores na fração particulada. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Bayer et al. (2004) no qual concluem que o acúmulo de carbono no solo em plantio direto ocorre preferencialmente na matéria orgânica particulada, a qual é mais sensível do que o carbono orgânico total às alterações no manejo do solo. Sá et. al. (2008) também destacou a importância dessa fração, reportando que a adoção do SPD recuperou o C das frações lábil e particulada. Recentemente, Canalli (2009) na mesma região, constatou que a fração lábil foi a que mais variou e, que devido à influência da sucessão de culturas no inverno e verão, os resultados obtidos variaram de 0,16 a 1,10 Mg ha⁻¹, demonstrando a influencia das culturas nos estoques de COL.

Os solos mais argilosos têm maior disponibilidade de nutrientes – devido à maior Capacidade de Troca Catiônica (CTC) – permitindo que haja maior produção de biomassa e conseqüentemente maior estoque de COT; entretanto, outros fatores podem estar colaborando, tais como a estabilidade química proporcionada pelas ligações da MOS com os argilominerais.

Os valores de COAM dos solos de textura média e muito argilosa foram menores na superfície e aumentaram em profundidade. As frações COL e COP se comportaram de maneira inversa. Em função dos resíduos culturais serem depositados na superfície, o compartimento ligado aos organominerais normalmente é maior nas camadas mais profundas.

Os exemplares escolhidos neste estudo apresentaram poucas diferenças estatísticas entre os compartimentos de C. Na profundidade de 0 – 10 cm o COAM do Latossolo textura média sob SPD-20 foi maior do que nos Latossolos, de mesma textura sob SPD-11, demonstrando que em solos de textura média, o aumento do estoque de C nas frações recalcitrantes da MOS se dá em menor tempo do que em solos de textura mais argilosa. Diferenças estatísticas no Latossolo de textura média foram encontradas apenas nas profundidades de 40 -70 cm e de 70 – 100 cm, provavelmente mais em função dos teores de argila, que aumentam com a profundidade, do que em função do manejo do solo.

Nos solos mais argilosos as diferenças estatísticas ocorreram apenas na fração particulada, na camada de 40 a 70 cm, com elevação do COP e diminuição do COAM em função do aumento do tempo de adoção do SPD. É possível que essa a camada esteja sofrendo um processo de lixiviação mais intenso comparado às camadas suprajacentes, provocando essas diferenças.

Comparando os estoques C nas diferentes frações, constatou-se aumento de C na fração mais recalcitrante, na camada de 0 – 10 cm do Latossolo de textura média sob SPD-20. Isto evidencia que a manutenção do SPD conduz o carbono para as frações associadas aos minerais, provocando o seqüestro do C por mais tempo neste compartimento. A fração

recalcitrante foi superior na camada superficial comparando-se os tempos de adoção do SPD, e a intensidade de acúmulo nas frações mais recalcitrante aumentou nos solos manejados no SPD há mais tempo. Provavelmente o seqüestro de C nas frações mais recalcitrantes seja favorecido pela manutenção da estrutura do solo devido à ausência de revolvimento e o conseqüente aumento da proteção física da MOS intra-agregados, reforçando os resultados reportados na mesma região por de Sá et al. (2008) e Ferreira (2009). Segundo Amado (2006), o aumento da proteção física que ocorre com o SPD nos solos depende também da textura e mineralogia dos mesmos.

Na camada de 10 – 20 cm também ocorreu o aumento de C nas frações lábeis sob SPD-20. Foi ainda observado maior acúmulo na fração particulada demonstrando que o C da MOS está migrando das frações lábeis em direção as frações mais recalcitrantes (COAM). Os estoques da fração mais recalcitrante no Latossolo com textura média e no Latossolo muito argiloso foram superiores aos estoques das frações particuladas e lábeis (Figura 3 e 4).

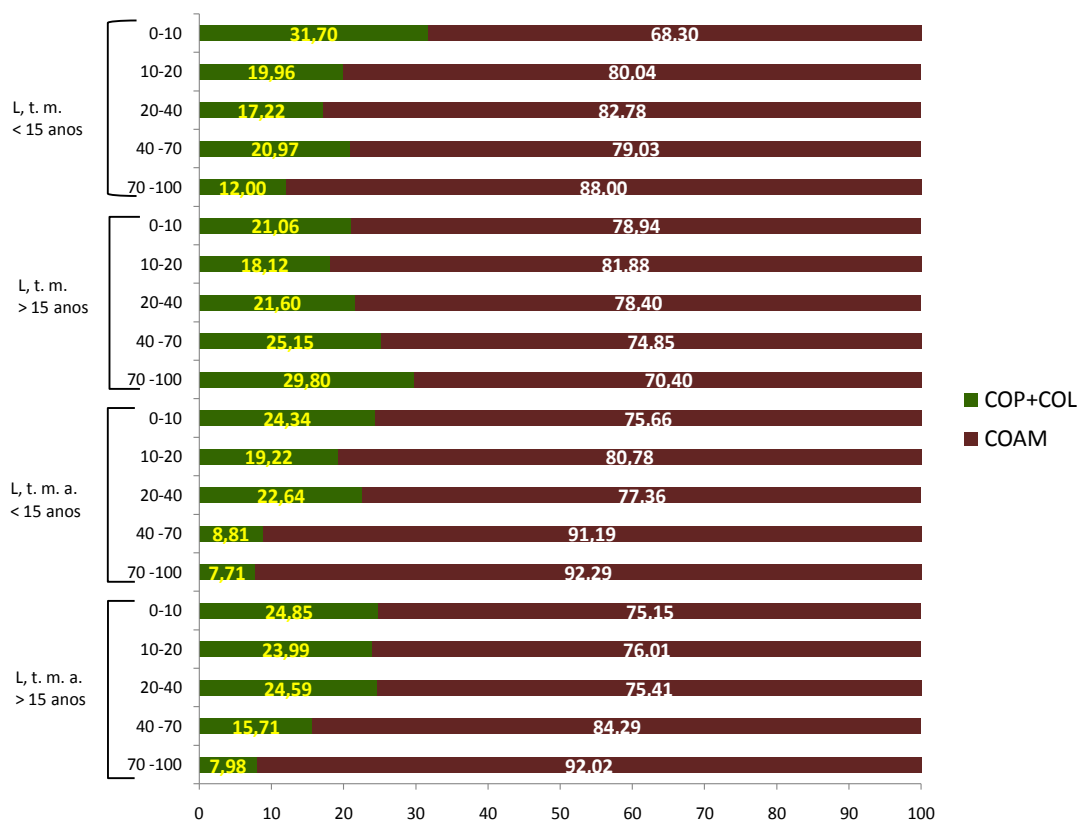


Figura 3. Porcentagem de C na fração lábil (COL) mais a particulada (COP) e na associada aos minerais (COAM) em Latossolos com textura média (L, t.m.) e com textura muito argilosa (L, t.m.a.) sob SPD-11 e SPD-20 em cinco profundidades.

Na camada de 20 – 40 cm o comportamento da MOS não se modifica comparado ao da fração 10 – 20 cm demonstrando a estabilização que o não revolvimento do solo causa nessa camada, e a confiabilidade da técnica de fracionamento granulométrico da MOS (Tabela 3).

Também observou-se que na camada de 20 – 40 cm (Tabela 3), que o aumento do tempo de adoção do SPD favoreceu o acúmulo de compostos orgânicos principalmente nas

frações 250 a 53 μm . Com o aumento do conteúdo de argila do solo e do tempo de SPD houve uma tendência de maior acúmulo maior de C.

Nas camadas abaixo de 20 – 40 cm as variações foram menores e provavelmente ocorrem mais em função das diferenças texturais e de mineralogia. Pode-se observar que os maiores reservatórios de C encontram-se nas frações menores que 53 μm em todas as profundidades e que as maiores variações nas camadas mais profundas ocorrem nas frações particuladas e lábeis.

Na Tabela 3, nas camadas mais profundas de 40 – 70 cm e de 70 – 100 cm, observamos que o COP apresentou valores 46 % maiores que o COL no Latossolo textura média sob SPD-20 comparado ao de menor tempo de adoção. Este resultado pode ser devido a processos de eluviação de material orgânico da superfície com posterior iluviação nessas camadas, devido ao aumento do conteúdo de argila em profundidade, muito comum nos Latossolos dessa região. Constata-se que solos com textura média são mais sensíveis às mudanças no sistema de manejo, e que essas mudanças afetam diretamente o comportamento dos estoques de carbono, não só em camadas superiores como em profundidade.

Nos quatro exemplares coletados houve aumento do estoque de carbono com o aumento do tempo de adoção do SPD (Figura 4). As frações lábeis e particuladas aumentaram 4,6% comparadas as SPD-11 no Latossolo com textura média. Em contrapartida nos Latossolos com textura muito argilosa as frações lábeis e particuladas aumentaram 2,9%. Segundo Bayer et al. (2004) a MO particulada é mais sensível ao manejo do solo do que o COT, e mesmo dentro do mesmo sistema serve de ferramenta para avaliação da evolução e desenvolvimento do manejo do SPD.

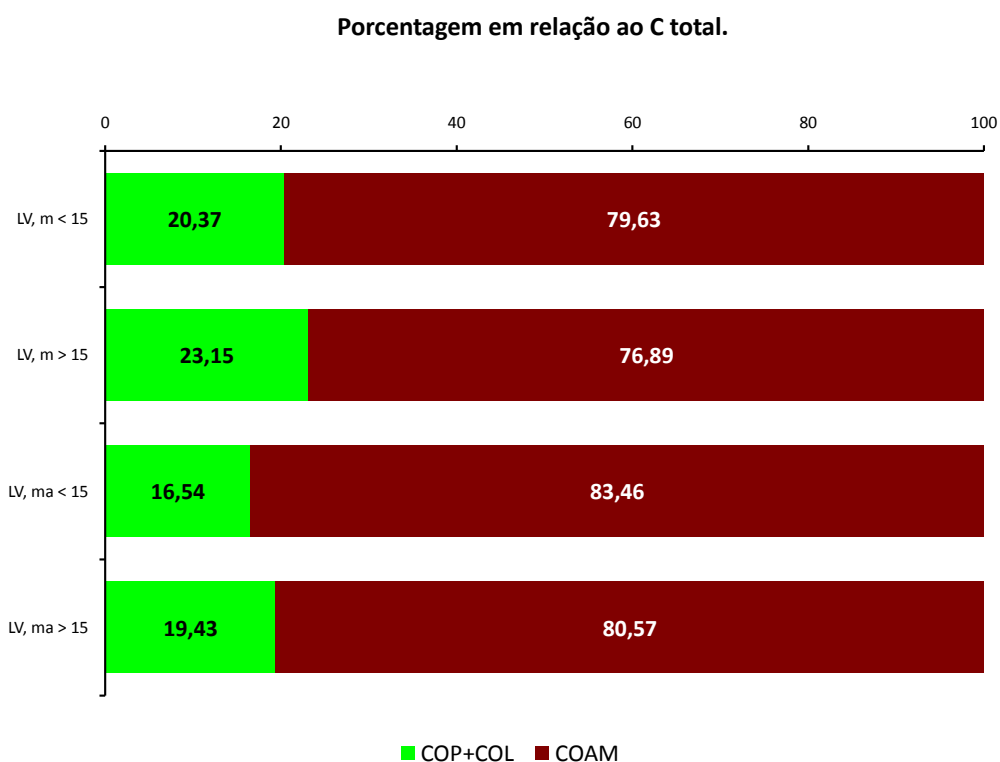


Figura 4. Porcentagem de C na fração lábil (COL) e particulada (COP), e na associada aos minerais (COAM) em Latossolos com textura média (L t.m.) e com textura muito argilosa (L t.m.a.) sob SPD-11 e SPD-20 para 1,0 m de profundidade (representando a média de todas as camadas amostradas).

A labilidade é uma propriedade importante do SOM, pois que afeta os fluxos de C e energia no solo através da atividade dos microrganismos, que fornecem um feedback positivo sobre a qualidade do solo (Blair et al., 1995; Conceição e Amado, 2002; Dieckow et al., 2005b; Amado, 2006).

Calculou-se a labilidade da MOS com a relação entre o COP e o COT nas diferentes camadas amostradas (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de Labilidade e COT em Latossolos SPD-11 e SPD-20 sob plantio direto na Região dos Campos Gerais do Paraná.

Classe Textural	Profundidade de coleta cm	SPD-11		SPD-20	
		COT	IL	COT	IL
Média	0 – 10	15,17	0,10	14,28	0,14
	10 – 20	10,62	0,20	9,69	0,10
	20 – 40	21,04	0,08	16,23	0,13
	40 – 70	21,38	0,08	19,38	0,16
	70 – 100	17,89	0,08	14,80	0,25
Muito argilosa	0 – 10	33,96	0,22	38,87	0,26
	10 – 20	28,82	0,17	23,45	0,24
	20 – 40	39,08	0,12	37,90	0,25
	40 – 70	41,98	0,08	27,63	0,16
	70 – 100	36,30	0,07	18,73	0,08

Os resultados obtidos nesse estudo mostram que os menores Índices de Labilidade (IL) ocorreram nos Latossolos textura média sob SPD-11. Nesses Latossolos o IL foi superior 50% na camada de 10 – 20 cm a camada superficial de 0 – 10 cm, e diminuíram nas camadas 20 – 40, mantendo o mesmo valor nas demais camadas até a profundidade de 100 cm.

Nos Latossolo textura média sob SPD-20 na camada de 0 – 10 cm o IL foi 40% superior em relação aos Latossolos SPD-11; já na profundidade de 10 – 20 cm houve decréscimo de 50% em relação aos solos com menor tempo de adoção do sistema. Nas camadas de 20 – 40; 40 -70 e 70 – 100 cm IL manteve-se superior nos solos com maior tempo de SPD, mostrando que na média, os IL foram maiores nos Latossolos sob longa duração de SPD.

Nos Latossolos textura muito argilosa o IL aumentou em todas as profundidades sob SPD-20 em comparação ao SPD-11: 18% na camada de 0 a 10 cm , 41% na camada de 10 - 20, 108% na camada de 20 – 40 cm, 100% na camada 40 – 70 cm e 14,3% na camada de 70 – 100 cm (Tabela 4).

Os valores de IL para os Latossolos textura média SPD-11 e SPD-20, variaram de 0,08 a 0,25 para as 5 camadas amostradas. Nas camadas de 0 a 20 cm a variação deste índice foi de 0,10 a 0,20; valores similares aos obtidos por Amado (2006), para sistema convencional, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Nos Latossolos de textura muito argilosa, os IL obtidos nas cinco camadas estudadas variaram de 0,07 a 0,26, considerando os dois períodos de adoção do SPD, (Tabela 4), sendo que nas camadas de 0 – 20 cm os IL foram de 0,17 a 0,26, resultados semelhantes, entretanto menores, aos obtidos por Amado (2006) que foram de 0,18 a 0,35 nos estados de SC e RS.

Os menores valores obtidos nesse estudo, quando comparados aos obtidos por Amado (2006), provavelmente foram em função das maiores taxas de decomposição na Região dos Campos Gerais do Paraná comparadas às das regiões estudadas pelo autor citado. Entretanto, é preciso observar que os IL aumentaram com o aumento do tempo de adoção de SPD na Região dos Campos Gerais do Paraná, demonstrando que a manutenção do SPD influencia diretamente este índice e as frações lábeis do solo – pelo aumento proporcional do COP quando comparado ao COAM, evidenciado pelo aumento do IL – podendo ser utilizado na avaliação da evolução e qualidade do SPD na região.

A distribuição dos estoques de C na fração lábil e particulada de (53 a 2000 μm)

apresentou pequenas variações positivas em favor das áreas com maior tempo de adoção do SPD (Figura 5). Este comportamento evidencia o papel deste compartimento na manutenção e estoque dos resíduos orgânicos que estão na transição para o compartimento estável. Portanto, o aumento destas frações demonstra que o sistema em questão está aumentando a manutenção dos estoques de C no solo.

Em contraste na fração associada aos minerais ($< 53 \mu\text{m}$) não apresentou variações (Figura 6) demonstrando ser este o compartimento mais estável e que as variações menores mesmo na comparação entre solos de mesma classe, mas em localizações diferentes.

Conclusões:

- Acúmulo de carbono em solos sobre SPD ocorreram principalmente em camadas superficiais do solo.
- Os estoques de C nos solos são maiores na fração menor que 53 μm .
- Os estoques de C tanto na fração lábil quanto na fração estável diminuem em profundidade, havendo exceções nas frações lábeis para solos argilosos.
- Os estoques de C lábil e estável são maiores nos solos com maior concentração de argila.
- O compartimento que apresentou maior acréscimo de estoque de carbono comparando-se o tempo de adoção do SPD foi o compartimento particulado demonstrando ser este o reservatório de seqüestro do C que esta em transição para a fração estável.
- Houve um aumento do COP com o aumento do tempo de adoção do SPD, observado pelo aumento do Índice de Labilidade.

Referências Bibliográficas:

AMADO, T. J.C.; BAYER C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO E., CAMPOS, B.C.; VEIGA, M.; Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. Published online July 6, 2006. Published in J. Environ. Qual. 35:1599–1607 (2006).

- BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J.; A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil & Tillage Research* 91 (2006) 217–226.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON C. N.; SANGOI, L.; Changes in Soil Organic Matter Fractions under Subtropical No-Till Cropping Systems. *Soil Science Society of America Journal* 65:1473-1478 (2001).
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, jul. 2004.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M. C. S.; FELLER, C.; CERRI, C. E.P.; ESCHENBRENNER, V.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B.; Gases do Efeito Estufa e Estoques de Carbono nos Solos: Inventário do Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 22, n. 1, p. 235-246, jan./abr. 2005.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (Ed) *Methods of soil analysis*. 2. ed. Part 1: Physical and mineralogical methods. Madison, ASA, 1986. p. 363-376.
- BONDE, T.A.; ROSSWALL, T.; VITÓRIA, R.L. The dynamics of soil organic matter and soil microbial biomass following clear-felling and cropping of a tropical rainforest in the central Amazon. Linköping, 1992. 35p.+ anexos (Linköping Studies in Arts and Science, 63).
- CANALLI, L. B. S., Decomposição de Resíduos Culturais e sua Contribuição nos Macroagregados e na Fração Lável da Matéria Orgânica do Solo no Sistema Plantio Direto. 2009. Tese de doutorado, UFPR, 109 p.
- CERRI, C. C.; VERNOUNX, M.; CERRI, C. E. P.; FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use and Management*, Oxford, v. 20, p. 248-254, 2007.
- DALAL, R.C. AND HENRY, R.J. Cultivation effects on carbohydrate contents of soil and soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1361-1365 (1988).
- DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO P. C.; ZANATTA, J. A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI D. B. M.; SALTON, J. C.; MACEDO, M. M.; MIELNICZUK, J.; HERNANI, L. C.; Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. *European Journal of Soil Science*, Vol. 60 Issue 2. pages 240-249. 2009.
- DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influence by long-term no-till cropping systems and N fertilization and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization. *Plant and Soil* 268: 319-328, 2005 a.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. *Dynamics of soil*

- organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: University of Hawaii Press, NifTAL Project, 1989. p.33-67.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.412, 2006.
- EMBRAPA. SNLCS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Curitiba, 1984. 791 p. (Boletim Técnico, 57).
- EMBRAPA. 1984. Mapa de Solos do Brasil, escala 1:1.000.000. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro.
- FELLER, C. Lá matière organique dans le sols tropicaux à argiles 1 :1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. These Doct. es Science, Univ. Strasbourg (ULP). 1994, 393p.
- FERREIRA, A.O. Compartimentos da matéria orgânica do solo como indicadores do sequestro de carbono em sistema plantio direto de longa duração. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa-PR, 2009.
- GREENLAND, D.J. & OADES, J.M. Saccharides. In:GREENLAND, D.J. & OADES, J.M. Soil components. New York, Springer-Verlag, 1975. v.1. p.213-261.
- KUO, S. ET AL. Winter cover crop effects on soil organic C and carbohydrate in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 145-152 (1997).
- OADES, J.M. The retention of organic matter in soils. Biogeochemistry, v.5, p.35-70, 1988.
- PAVEI, M.A. Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR). Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2005. 114p. (Tese de Mestrado).
- PARFITT, R.L. et al. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. Geoderma, v.75, p.1-12, 1997.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. & FEIGL, B., Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage cronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J. v.65:1486-1499, 2001.
- SÁ, J. C. M., CERRI, C. C., PICCOLO, M. C., FEIGL, B. E., SANTOS, J. B., FORNAZARI, A., SA, M. F. M., SEGUY, L., BOUZINAC, S., VENZKE-FILHO, S. P., PAULLETI, V., NETO, M. S. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. Revista Plantio direto, Passo Fundo-RS, p 45 - 61, 2004.
- SÁ, J. C. M., LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. Soil & Tillage Research 103 (2009) 46–56.
- SÁ, J.C.M., SÉGUY, L., GOZÉ, E., BOUZINAC, S., HUSSON, O., BOULAKIA S., TIVET, F., FOREST, F., SANTOS, J. B. Carbon pools and balance in no-tillage soils under

intensive cropping systems in tropical and subtropical agroecozones. Soil Sci. Soc. Am. J. "in final review", 2008.

- SÁ, J. C. M. ; SEGUY, L. ; GOZE, E. ; BOUZINAC, S. ; HUSSON, O. ; BOULAKIA, S. ; TIVET, F. ; FOREST, F. ; SANTOS, J. B. . Carbon Pools and Sequestration Rates in No-Tillage Soils Under Intensive Cropping Systems in Tropical and Subtropical Agroecozones. Soil Science Society of America Journal, 2009. (In press).
- SÁ, M.F.M. Os solos dos Campos Gerais. In: MELO, M.S; MORO, R.S. GUIMARÃES, G.GB. (Eds.) in. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007, p.73-83.
- SALL, J.; CREIGHTON,L.; LEHMAN, A. JMP start statistics: aguide to statistics and data analysis using JMP and JMP IN software. 3rded. Cary: Duxbury Press, 2005. 580p.
- SANTOS, J. B., Alterações no estoque e Taxa de seqüestro de carbon em um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo. 2004 – 2006, 120 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Área de Concentração em Agricultura. – Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- SIQUEIRA NETO, M.; Estoque de Carbono e Nitrogênio do solo sob diferentes usos no Cerrado em Rio Verde. Goiás. Tese de doutorado, 2006, 159 p. USP.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; VENZKE FILHO, S. P.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). II - Emissões de CO₂ e N₂O. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.33 no.4 Viçosa July/Aug. 2009 a.
- SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.E.P. & CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). - I Sequestro de carbono no solo. R. Bras. Ci. Solo, 33:1013-1022, 2009 b.

8. CONTRIBUIÇÃO DO TEMPO DE ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO NO ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM CLASSES DE SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ

RESUMO - O manejo do solo altera a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS), e pode fazê-lo atuar como fonte ou dreno do CO₂ atmosférico. O sistema plantio direto (SPD) associado à rotação de culturas é uma estratégia para recuperação do estoque de C e N e para redução das emissões dos gases de efeito estufa. O objetivo desse estudo foi estimar a contribuição do tempo de adoção do SPD no estoque de carbono orgânico total (COT) em classes de solos com diferentes texturas, na região dos Campos Gerais-PR. A estimativa da contribuição do SPD foi concebida com base nos fatores descritos a seguir: (1) no inventário dos estoques de COT para a profundidade de 0-40 cm, quantificados em classes de solos com diferentes texturas e com dois tempos de adoção do SPD, obtidos nesse estudo; (2) nas taxas de seqüestro de C de classes de solos de uma pedossequência representativa da região dos Campos Gerais; (3) nos dados históricos de experimentos de longa duração sobre sistemas de manejo do solo em desenvolvimento na região dos Campos Gerais; (4) na quantificação das taxas de seqüestro de C em solos sob plantio direto desta região, reportados por outros autores; (5) nas taxas de seqüestro de C da região Sul do Brasil reportadas por outros autores.

O potencial de seqüestro de COT nas classes de solos foi em média de 0,20 a 0,80 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ devido à manutenção do SPD por longo período na região. A contribuição do SPD com menos de 15 anos (média de 11 anos – SPD-11) foi de 8,5% do estoque total de COT considerando todas as classes de solos e representou o montante de 4,38 Tg de COT

(equivalente a 16,03 Tg de CO₂ mitigado). O SPD com mais de 15 anos (média de 20 anos – SPD-20) contribuiu com 14,2% do estoque total de COT em todas as classes de solos representando 7,53 Tg (equivalente a 27,56 Tg de CO₂ mitigado). O aumento no conteúdo de argila independente da classe de solo resultou no maior estoque de COT e o SPD mais antigo também resultou no maior acúmulo de COT no perfil até 40 cm de profundidade. As classes de solos que apresentaram o maior potencial de sequestro de COT sob longo tempo de SPD na região dos Campos Gerais foram os Cambissolos e os Latossolos.

Palavras chaves: Contribuição do Sistema Plantio Direto, classes de solos, conteúdo de argila, manejo de solo, estoque de carbono, sequestro de carbono.

CONTRIBUTION OF THE ADOPTION TIME OF THE NO-TILLAGE SYSTEM IN THE TOTAL ORGANIC CARBON STOCK IN CLASS OF SOIL WITH DIFFERENT TEXTURES IN THE REGION OF CAMPOS GERAIS OF PARANA

Abstract – The land use changes the amount and quality of soil organic material (MOS), and can make it act as a source or sink of atmospheric CO₂. The direct planting system (SPD) associated with the rotation of cultures is a strategy for the recovery of the C and N stock and to reduce emissions of the greenhouse gases. The aim of this study was to estimate the contribution of the adoption time of the SPD in the stock of total organic carbon (COT) in soil classes with different textures in the region of Campos Gerais, Paraná. The estimate of the SPD contribution was designed based on the factors described below: (1) the inventory of

COT stocks for the depth of 0-40 cm, measured by soil classes with different textures and two times of the SPD adoption obtained in this study, (2) on the rates of C sequestration in soil classes of a representative soil succession of the region of Campos Gerais, (3) on the historical data for long-term experiments on systems of soil management in development in the Campos Gerais, (4) the quantification of rates of C sequestration in soils under direct planting in this region, reported by other authors (5) the rates of C sequestration in southern Brazil reported by other authors.

The potential for the sequestration of COT in soil classes averaged of 0.35 to 0.64 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ due to the maintenance of the SPD for a long period in the region. The contribution of the SPD with under 15 years (average of 11 years) was 10.2% of the total stock of COT considering all soil classes and represented the amount of 3.89 Tg COT (equivalent to 14.24 Tg CO₂ mitigated). The SPD with more than 15 years (average of 20 years) accounted for 17.74% of the total stock of COT in all classes of soil representing 7.06 Tg (equivalent to 25.84 Tg CO₂ mitigated). The increase in the clay content regardless of the soil class resulted in the largest stock of COT and oldest SPD also resulted in greater accumulation of COT in the profile up to 40 cm deep. The soil classes that presented the greatest potential for sequestration of COT under a long-time of SPD in the region of Campos Gerais were Inceptisols and Oxisols.

Key words: Contribution of the No-Tillage System, soil class, clay content, soil management, carbon storage, carbon sequestration.

Introdução

A concentração de CO₂ na atmosfera terrestre permaneceu próxima a 280 ppm durante aproximadamente um milhão de anos, até o início da revolução industrial. As ações antrópicas, como o uso de combustíveis fósseis e o crescimento na população mundial, fizeram com que essa concentração aumentasse para 380 ppm (Solomon et al., 2007). Da mesma forma, a concentração do N₂O no período anterior à Revolução Industrial era de 287 ppb e atualmente situa-se em 315 ppb.

As principais fontes antropogênicas de emissão de CO₂ têm origem na queima de combustíveis fósseis e da biomassa vegetal, bem como na mineralização da matéria orgânica do solo (Lal, 2008). As maiores contribuições nas emissões de N₂O são oriundas do uso de fertilizantes nitrogenados e da indústria química e petroquímica (Reck & Hoag, 1997). O principal componente da MOS é o carbono e a quantidade de carbono presente na camada superficial do solo no mundo, até 100 cm, está próximo a 1500 Pg (Lal, 2002).

A MOS é um dos principais componentes para o funcionamento adequado das funções químicas, físicas e biológicas do solo. Os fatores que afetam o conteúdo e a quantidade da MOS são: as condições climáticas como temperatura e umidade (Fang e Moncrieff, 2001), os tipos de solos, a textura e a mineralogia com relação a proteção física da MOS (Six, et al. 1999). A maior parte da MOS está ligada a fração mineral do solo (68-96%) em todas as profundidades, independente do sistema de cultivo ou rotação de culturas utilizada, e as maiores concentrações (60- 95%) são encontradas nas interações com as frações silte e argila (Bayer, et al. 2002).

A base do bom funcionamento do SPD é a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo através da rotação de culturas proporcionando a decomposição gradual do material orgânico, que, associado à fração mineral, favorece o aumento do C no solo (Amado et al., 2001; Sá et al., 2001). Dessa maneira, o SPD apresenta potencial para mitigar a emissão de CO₂ e acumular C no solo. Os sistemas de colheita, com a entrada elevada da biomassa para manter o solo coberto permanentemente, imitam as circunstâncias encontradas nas áreas com vegetação natural e desenvolvem a estratificação do COT e dos atributos ligados ao C (Sá e Lal, 2009).

OBJETIVO GERAL

Estimar a contribuição do C devido ao tempo de adoção do SPD no estoque de carbono orgânico total (COT) em classes de solos, com diferentes texturas, na região dos Campos Gerais do Paraná.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o estoque de C e N nas classes de solos: Latossolo com textura muito argilosa, Latossolo com textura argilosa, Latossolo com textura média, Cambissolo com textura muito argilosa, Cambissolo com textura argilosa, Cambissolo com textura média e os Argissolos, Organossolos, Neossolos típicos nas profundidades: 0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 40 cm e 40 - 70 cm e 70 - 100 cm;

- Quantificar o estoque de C e N nas profundidades: 0- 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 70 cm e 70 – 100 cm e considerar a classe de solo sob vegetação natural como referência para a comparação com os solos com menos e mais de 15 anos sob SPD;
- Desenvolver o critério para estimar a contribuição do tempo de SPD no estoque de COT nas classes de solos para a Região dos Campos Gerais do Paraná;

Material e Métodos

Descrição e localização da Região de estudo

A área de estudo situa-se na macrorregião denominada Campos Gerais do Paraná, e abrangeu cinco municípios: Ponta Grossa, Carambeí, Castro, Palmeira e Tibagi, totalizando uma extensão territorial de aproximadamente 1.531.864 hectares (Figura 1).

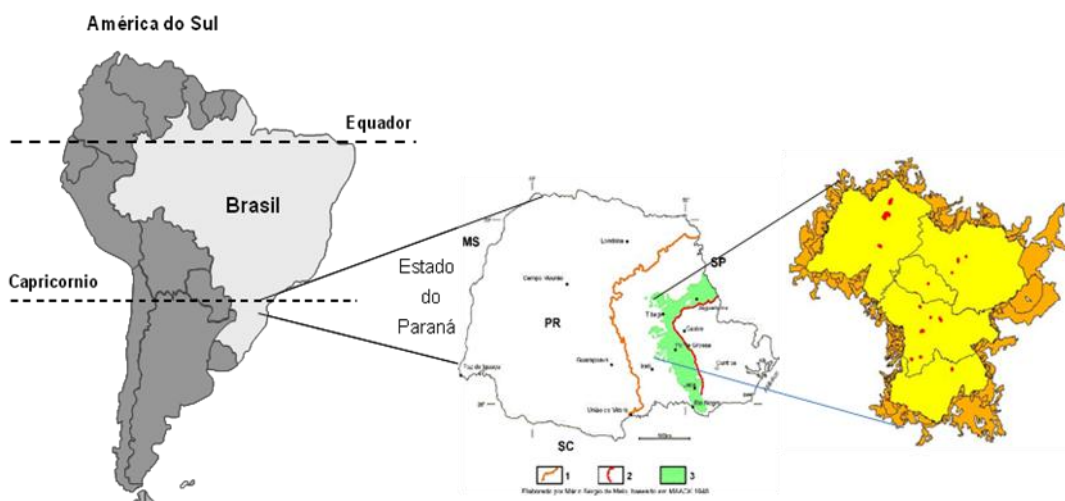


Figura 1. Localização da área de abrangência do inventário dos estoques de C e N (destaque em amarelo) que representa os municípios de Ponta Grossa, Carambeí, Castro, Palmeira e Tibagi.

O clima, a localização das coletas, o histórico da ocupação da Região, a mudança do uso da terra e a distribuição das classes de solos na Região dos Campos Gerais do Paraná encontram-se em detalhes no primeiro artigo desta Tese **p. 30 – 39**.

Neste capítulo será apresentada a metodologia para dar o suporte aos objetivos a serem alcançados neste trabalho específico.

Procedimento de cálculo e estimativa da contribuição do SPD no estoque total de C em classes de solos

A estimativa da contribuição do C oriundo do tempo de adoção do SPD no estoque total de COT em classes de solos para a profundidade de 0-40 cm foi elaborada com base nos componentes descritos a seguir:

- a) Média da diferença (delta) estoque de carbono orgânico total (Δ_{COT}) em cada profundidade coletada (0 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm) nas classes de solos de uma pedossequência representativa da região dos Campos Gerais. O Δ_{COT} representa a taxa de seqüestro de C em cada classe de solo e foi obtido pela diferença do estoque de C no $t_2 - t_1$, expressos em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;
- b) Δ_{COT} total: Soma das médias do Δ_{COT} de cada profundidade amostrada para obter o total acumulado na camada de 0 - 40 cm, expressos em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;

- c) Obtenção do fator de contribuição de cada classe de solo no estoque de C: o índice de contribuição foi baseado no Δ_{COT} determinado em todas as classes de solos da pedossequência. O maior Δ_{COT} entre as classes de solos foi do Latossolo Vermelho argiloso que se encontra na posição de topo da vertente na pedossequência estudada. A este, atribuiu-se o índice 100% de contribuição e para as demais classes foi ajustado o valor relativo do Δ_{COT} (Tabela 4, com o Δ_{COT} para cada classe de solo da pedossequência).

Tabela 4. Componentes utilizados para estimar a contribuição do estoque de C na Região dos Campos Gerais

Classe de solo na Pedossequência [‡]	Δ_{COT} por profundidade de amostragem, cm ^{‡‡}			Taxa de seqüestro Σ para 0-40 cm [§]	Fator de contribuição no seqüestro de C [†]	Fator de conversão por classe de solo ^{††}
	0-10	10-20	20-40			
	----- Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----				%	Mg ha ⁻¹
LV, ta	0,80	0,15	0,22	1,17	100,00	0,80
LV, tm	0,46	0,11	0,15	0,72	61,97	0,50
LVA, tm	0,41	0,10	0,14	0,64	55,24	0,44
C, tm	0,40	0,10	0,15	0,65	55,93	0,45
G, tm	0,57	0,14	0,24	0,95	81,49	0,65

[‡] LV, ta = Latossolo Vermelho textura argilosa; LV, tm = Latossolo Vermelho textura média; LVA, tm = Latossolo Vermelho Amarelo, textura média; C, tm = Cambissolo, textura média; G = Gleissolo, textura média/arenosa. ^{‡‡} O Δ_{COT} foi calculado pela diferença entre o estoque determinado no tempo 1 – tempo 2 (t_1 – coleta em abril de 2007 e t_2 em abril maio de 2009). Os valores por profundidade referem-se à coleta de três repetições por ponto. [§] refere-se ao somatório (Σ) do Δ_{COT} de cada profundidade para cada classe de solo para obter o Δ_{COT} de 0-40 cm; [†] Fator de contribuição de C para cada classe de solo calculado a partir do LV na posição de topo com 100%. Exemplo: $(0,72 * 100)/1,17 = 61,97$. ^{††} Fator de conversão do C para cada classe de solo baseado na taxa de seqüestro obtida em experimento de longa duração sobre sistemas de manejo. A taxa de 0,8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para o SPD (Sá et al., 2010 – in review). Os demais valores foram calculados pelo fator de contribuição = $(0,8 * 61,97)/100 = 0,50$, seguindo o mesmo raciocínio para os demais.

- d) Área estimada com produção de grãos em cada classe de solo = 45,34%
- e) Área estimada com SPD em cada classe de solo = 85%
- f) Taxa média de sequestro de referência obtida para a região de estudo reportada por outros autores (Tabela 5).

Tabela 5. Taxa de acúmulo ou perda de C na conversão do plantio convencional em plantio direto na região dos Campos Gerais do Paraná

Local	Tipo do solo	Camadas	Tempo SPD	Taxa de C	Referência
		cm	anos	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	
Ponta Grossa	LV	0 - 40	22	+ 0,90	Sá, et al., 2001
Ponta Grossa	LV	0 - 20	15	+ 0,66	Pavei, 2005
Tibagi	LV	0 - 10	22	+ 1,00	Venzke Filho et al., 2003
Tibagi	LV	0 - 40	24	+ 0,80	Siqueira Netto et al., 2006
Ponta Grossa	LV	0-10	19	+ 0,65	Canalli, 2009
Ponta Grossa	LV	0-20	18	+ 0,80	Sá et al., 2010 (in review)
Média					
Brasil		0 - 40		+ 0,43	Cerri et al., 2007;
Mundo		0 - 30		+ 0,33	Six et al., 2002
Região Temperada		0 - 30		+ 0,16	Lal, 2004
Região Tropical		0 - 30		+ 0,43	Bayer et al., 2006

Os componentes da Tabela 4 serviram como base para a estimativa da contribuição do tempo de SPD no estoque de COT nas classes de solo.

Resultados e Discussão

As classes de solo tiveram média de COT até 40 cm de profundidade de 91,72 Mg ha⁻¹ para SPD-11 e 96,98 Mg ha⁻¹ para SPD-20 (Tabela 6), valores condizentes aos estimados por Bernoux (2001) para esta região, que foram de $58,3 \pm 6,3$ Mg ha⁻¹, com média para a Região Sul de 60,5 Mg ha⁻¹, calculados para os 30 cm superficiais, o que justifica a menor média obtida por este autor.

Tabela 6. Contribuição do SPD no estoque de C na Região dos Campos Gerais – Paraná.

Classes de solos	Área total por classe de solo	Área cultivada por classe de solo	Área com SPD por classe de solo	Taxa de Sequestro por classe de solo	COT – Total [†] (média dos solos para 0-40 cm)		COT - área total ^{††}		COT-SPD ^{†††}	
					(SPD-11)	(SPD-20)	(SPD-11)	(SPD-20)	(SPD-11)	(SPD-20)
	----- ha -----				----- Mg ha ⁻¹ -----		----- Tg -----		---- Tg ----	
L tma	322934	146418	124456	0,80	111,80	119,25	13,91	14,84	1,10	1,99
L ta	70892	32142	27321	0,80	83,29	98,62	2,28	2,69	0,24	0,44
L tm	37076	16810	14289	0,50	49,20	57,25	0,70	0,82	0,08	0,14
C tma	19276	8740	7429	0,80	121,10	121,37	0,90	0,90	0,07	0,12
C ta	425745	193033	164078	0,80	88,80	89,95	14,57	14,76	1,44	2,63
C tm	73851	33484	28461	0,45	68,81	73,96	1,96	2,11	0,14	0,26
P	191752	86940	73900	0,80	119,78	119,78	8,85	8,85	0,65	1,18
O	23984	10874	9243	0,65	180,70	180,70	1,67	1,67	0,07	0,12
R	254494	115387	95079	0,20	33,38	33,38	3,27	3,27	0,22	0,39
N nc	22421	10166	8641	0,80	83,29	98,62	0,72	0,85	0,08	0,14
G nc	76568	34716	29509	0,65	68,81	73,96	2,03	2,18	0,21	0,38
Oc. Aflora.										
Rochas nc	12871	5836	4960							
SOMAS	1531864				1009	1067	51	53	4,28	7,79
MÉDIAS				0,66	91,72	96,78	4,62	4,81	0,39	0,71

[†] COT total- Estoque de carbono por classe de solo em Mg ha⁻¹ até 40 cm, ^{††}COT- área total – estoque de carbono calculado para toda a área cultivada em SPD em Tg, ^{†††} COT-SPD – contribuição do SPD em estoques de carbono calculado para cada classe de solo considerando-se a área total em SPD; com menos de 15 anos (<15 anos – média de 11 anos) e mais de 15 anos (> 15 anos – média de 20 anos). L tma – Latossolo textura muito argilosa; L ta – Latossolos textura argilosa; L tm – Latossolo textura média; C tma – Cambissolo textura muito argilosa; C ta – Cambissolos textura argilosa; C tm – Cambissolo textura média; P – Argissolo; O – Organossolo; R – Neossolo; N nc – Nitossolo não coletado; G nc– Gleissolo não coletado; Oc. Aflor. Rochas nc – Ocorrência de Afloramento de Rochas não coletado.

Em SPD-11, a classe de solo que teve maior estoque de C, considerando a área total por classe, foi a dos Cambissolos textura argilosa, com 14,57 Tg, provavelmente devido a grande ocorrência de Cambissolos com horizonte A húmico na região, associado ao elevado conteúdo de argila; em seguida vem a classe dos Latossolos textura muito argilosa, com 13,91 Tg de COT. As demais classes, devido a sua menor representatividade em área, tiveram

estoques de C por área total da classe de 0,70 a 8,85 Tg. A média geral do estoque de C considerando todas as classes, na totalidade da área, foi de 4,62 Tg e a soma do estoque de C em todas as classes foi de 51 Tg (Tabela 6).

Na média as classes de solos no SPD-11 contribuíram com 4 a 11,2% e média geral de 8,5% conforme Figura 2.



Figura 2. Porcentagem de contribuição de COT do SPD-11 COT Original do Solo.

L tma – Latossolo textura muito argilosa; L ta – Latossolos textura argilosa; L tm – Latossolo textura média; C tma – Cambissolo textura muito argilosa; C ta – Cambissolos textura argilosa; C tm – Cambissolo textura média; P – Argissolo; O – Organossolo; R – Neossolo; N nc – Nitossolo não coletado; G nc – Gleissolo não coletado.

Já nas áreas de SPD-20, os Latossolos textura muito argilosa superaram os Cambissolos textura argilosa na habilidade de acumular COT, apresentando 14,84 e 14,76 Tg, respectivamente. Este fato pode ser explicado pela localização dos Latossolos na posição de

topo e meia encosta superior das vertentes, com declividades geralmente em torno de 0 a 8%, tornando-os menos sujeitos a situações de perdas por enxurradas e favorecendo a manutenção dos resíduos culturais e subprodutos da cadeia de decomposição da MOS. Por outro lado, os Cambissolos ocupam as posições de meia encosta média a inferior na vertente, com maiores declividades, tornando-os mais susceptíveis às perdas por erosão. As outras classes tiveram estoques que variaram de 0,82 a 8,85 Tg, e a média geral para o SPD-20 foi de 4,81 Tg, portanto 3,95% maior que no SPD-11.

Na média as classes de solos no SPD-11 contribuíram com 7,2 a 17,8% com média de 14,6,2 % conforme Figura 3.

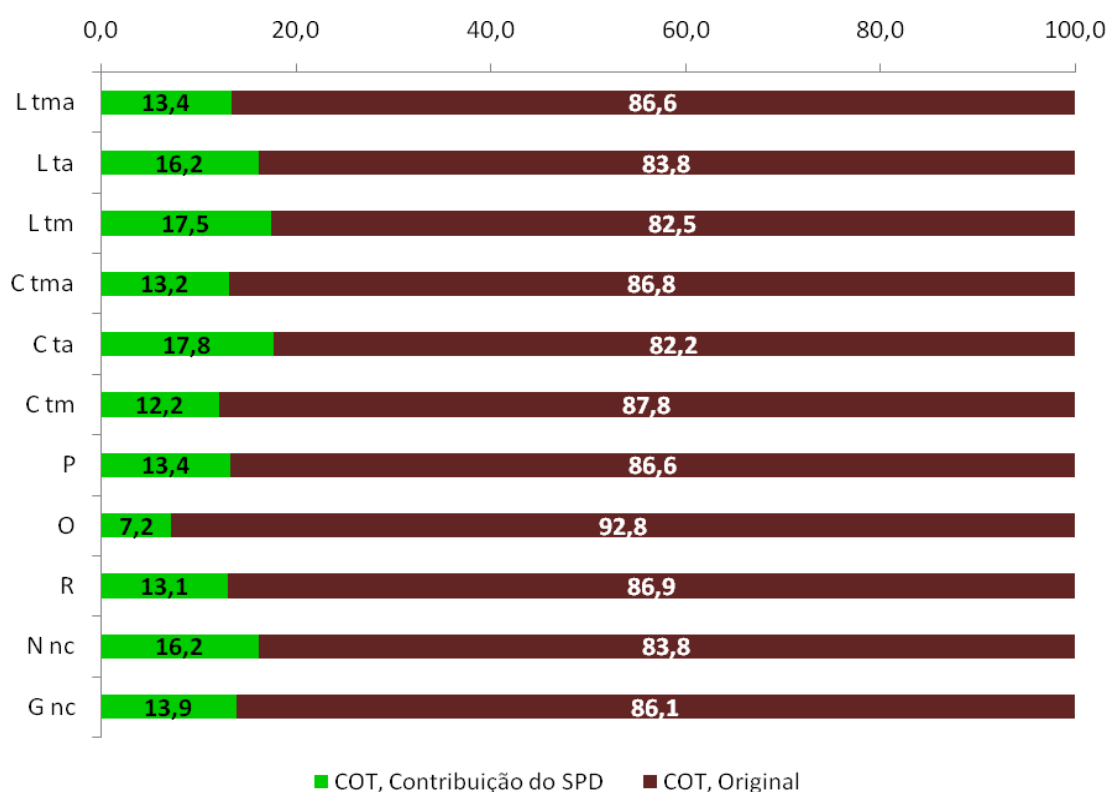


Figura 3. Porcentagem de contribuição de COT do SPD SPD-11 e SPD-20 e COT Original do Solo.

L tma – Latossolo textura muito argilosa; L ta – Latossolos textura argilosa; L tm – Latossolo textura média; C tma – Cambissolo textura muito argilosa; C ta – Cambissolos textura argilosa; C tm – Cambissolo textura média; P – Argissolo; O – Organossolo; R – Neossolo; N nc – Nitossolo não coletado; G nc – Gleissolo não coletado.

A soma do estoque de C nas áreas de SPD-20, considerando-se todas as classes de solo, foi de 53 Tg, apresentando 2,65 Tg de COT a mais do que nas áreas de SPD-11, demonstrando que o maior tempo de adoção do sistema contribuiu para o aumento dos estoques de C e mitigação do efeito estufa.

Os valores de COT-SPD, contribuição do SPD em estoques de carbono calculado para cada classe de solo considerando-se a área total em SPD; o tempo de adoção SPD-11 e SPD-20 encontram-se na Tabela 6. No total da área de estudo o SPD-11 contribuiu com 4,28 Tg de COT enquanto o SPD-20 contribuiu com 7,79 Tg, representando 8,5 e 14,6 % do estoque de C da região de estudo, respectivamente. Estes resultados enfatizam a grande contribuição do SPD no sequestro de C em nível regional.

A Região dos Campos Gerais tem o potencial de sequestrar em média $0,39 \text{ Mg C ano}^{-1}$ considerando-se todas as classes de solos contempladas nesse estudo (Tabelas 3 e 6) podendo, com o aumento do tempo de adoção do SPD nas demais áreas, chegar a média de $0,71 \text{ Tg C ano}^{-1}$. Vale considerar, que este trabalho foi desenvolvido em nível de propriedade, com diferenças no tocante ao controle e rigidez nas práticas agrícolas que elevam o sequestro de C no SPD. Portanto, com o aperfeiçoamento do SPD, esta região ainda tem potencial de aumentar a capacidade de sequestrar carbono.

O estoque de COT do solo das áreas sob SPD-11 e SPD-20 apresentaram estoques de 51 Tg e 54 Tg respectivamente na soma de todas as classes de solos estudadas, sendo que a contribuição do SPD nessa situação foi de 4,28 Tg e 7,79 Tg respectivamente conforme a Figura 4.

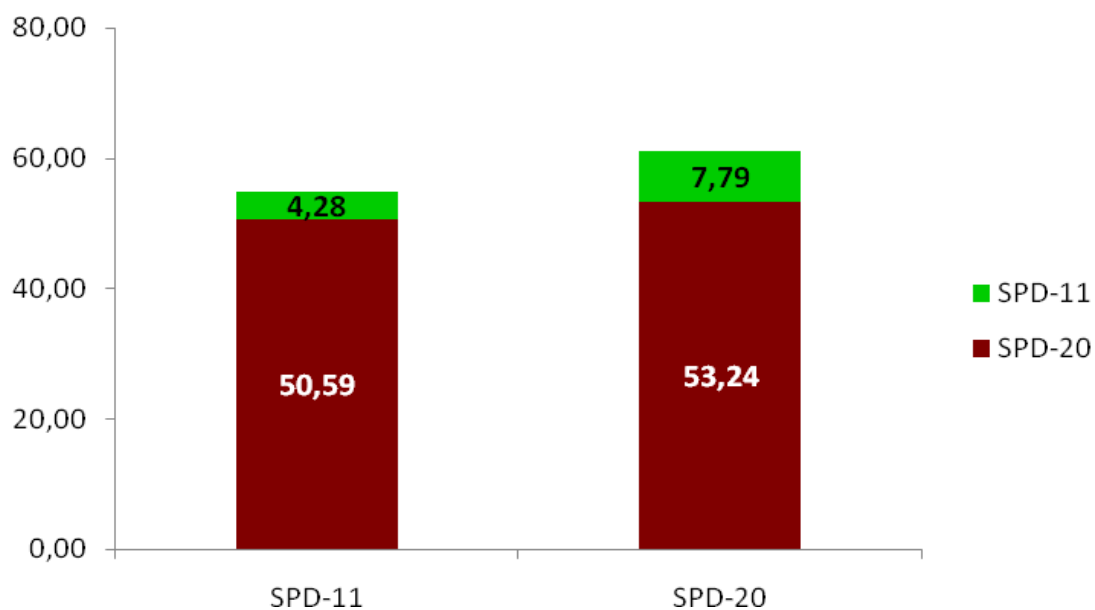


Figura 4. Contribuição do SPD em Tg de COT. COT, Contribuição do SPD e COT – SPD – original do solo sob SPD-11 e SPD-20 do SPD na Região dos Campos Gerais do Paraná.

O SPD-11 contribuiu, na média de todas as classes de solos estudadas, com 8,5 % do estoque total de C, enquanto no SPD com mais de 15 anos esta contribuição foi de 13,8%, ressaltando a capacidade do sistema de estocar o carbono no solo (Figura 5).

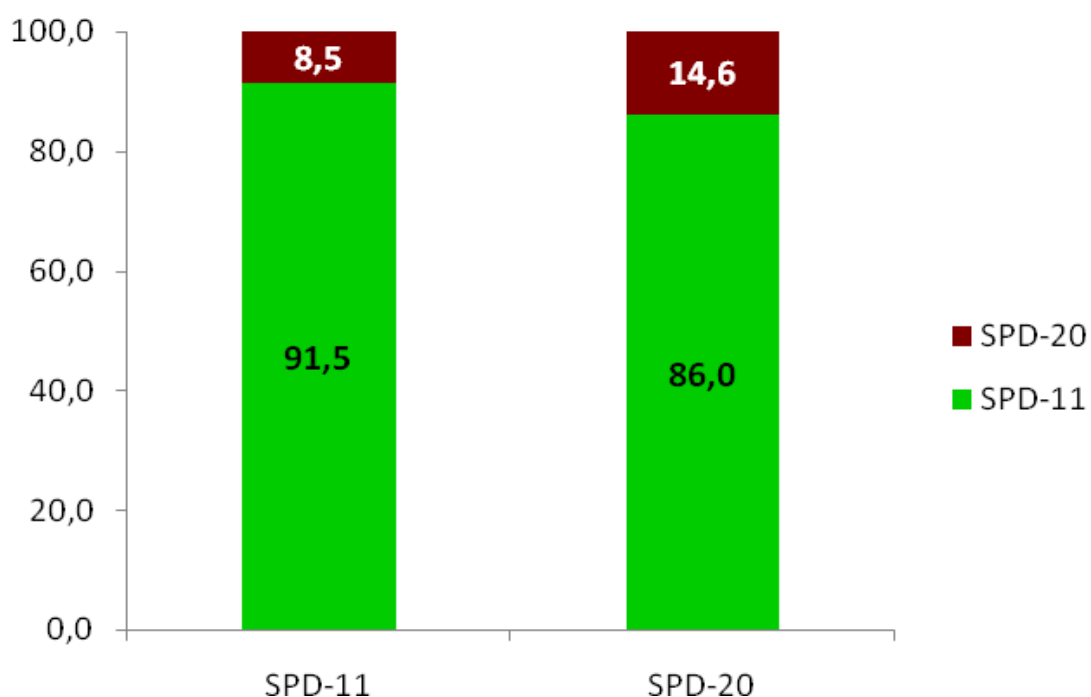


Figura 5. Porcentagem de contribuição do SPD em COT. COT, Contribuição do SPD e COT – SPD – original do solo sob SPD-11 e SPD-20 na Região dos Campos Gerais do Paraná.

CONCLUSÕES

A Região dos Campos Gerais tem o potencial de sequestrar em média 0,20 a 0,80 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, com a manutenção do SPD e o aumento do tempo de adoção do sistema.

O SPD-11 sequestrou em média 4,28 Tg de C e 7,78 Tg de C nas áreas sob SPD-20 na região dos Campos Gerais coberta neste estudo.

As áreas com SPD-11 têm 8,5 % do COT originado do SPD enquanto nas áreas com SPD-20 a contribuição do SPD foi de 14,6,4%.

A adoção do SPD por maior tempo aumenta o sequestro de C na Região dos Campos Gerais.

Referências Bibliográficas:

- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo, 25:189-197, 2001.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 24, p. 179-189, 2000.
- AMADO, T.J.C. Seqüestro de carbono em plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. In: CONFERÊNCIA ANUAL DA REVISTA PLANTIO DIRETO, 4., Passo Fundo, 1999. Anais... Passo Fundo: Aldeia Norte, p.44-51, 1999.
- AMADO, T. J. C.; et al. Sequestro de carbono de carbono em sistemas conservacionistas na Depressão Central de Rio Grande do Sul. In: V Reunión bienal de la red latinoamericana de agricultura conservacionista. p.42-43, Florianópolis, 1999. 57p.
- AMADO, T. J.C.; BAYER C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO E., CAMPOS, B.C.; VEIGA, M.; Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. Published online July 6, 2006. Published in J. Environ. Qual. 35:1599–1607 (2006).
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European Journal of Soil Science, Oxford, v.47, n.2, p.151-163, 1996.
- BAYER, C.; BERTOL, I.; Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase a matéria orgânica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 23:687-694, 1999.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T.J.C., MARTIN-NETO, L., FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. Soil & Tillage Research., 54: 101-109. (2000).
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; AMADO, T. J. C.; C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. Geoderma. 02481- 11 pages, 2005.
- BAYER, C.; DICK, D.P.; RIBEIRO, G. M.; SCHEUERMANN, K.K.; Carbon stocks in

organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no tillage effect. *Ciência Rural*, Santa Maria, v32, n.3, p. 401-406, 2002.

BAYER, C., L. MARTIN-NETO, J. MIELNICZUK, A. PAVINATO, AND J. DIECKOW. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil Tillage Res.*, 86:237-245, 2006.

BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T.J.C., MARTIN-NETO, L., FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research.*, 54: 101-109. (2000)

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997

BEARE, M.H.; HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D.C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.777-786, 1994.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. CO₂ emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. *Global Change Biology* 7; 779-787, 2001.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal*, v.66, p.888-896, 2002.

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D., CERRI, C. C.; BOURENNANE H. Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondonia). *Soil Science*, New Brunswick, v.163, n. 12, p. 941-951, 1998.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.54, p.382-389, 1999.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:527-538, 1998.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 65, p. 45-51, 2002.

- CERRI, C. C.; VERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use and Management*, Oxford, v. 20, p. 248-254, 2007.
- CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I.; FERNANDES, F. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob Cerrado cultivado com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 9, p. 267-270, 1985.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo* 23:425-432, 1999.
- COSTA, FALBERNI DE SOUZA ET AL. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Fev 2008, vol.32, no.1, p.323-332. ISSN 0100-0683
- DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:473-480, 1997.
- DICK, W.A. Organic, nitrogen and phosphorus concentrations and pH profiles as affected by tillage intensity. *Soil Science Society of America Journal*, v.47, p. 102-107, 1983.
- DICK, W.A. e VAN DOREN, Jr. Continuous tillage and rotation combinations effects on corn, soybean and oats yields. *Agron. J.*, Madison, v.77, p.459-465, 1985.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Tillage Research*. 1- 9, 2004.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization. *Plant and Soil* 268: 319-328, 2005.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influenced by land use, cropping and N fertilization, assessed by CPMAS13 C NMR spectroscopy. *European Journal of Soil Science*, 56, 705-715, dezembro 2005.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. Dynamics of soil

organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: University of Hawaii Press, NifTAL Project, 1989. p.33-67.

- ESWARAN, H.; VAN DER BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal*, v.57, p.192-194, 1993.
- FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 33, p. 155-165, 2001.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, Amsterdam, v. 79, p. 60–116, 1997.
- FIDALGO, E.C.C.; BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; MADARI, B.E.; COELHO, M.R.; MOURA, I.B.; LIMA, C.X. Estoque de Carbono nos Solos do Brasil. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos. Dados Eletrônicos*. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Acesso em 10 dez. 2007, site: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>>
- FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. E. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S.; Soil organic carbon and fraction of Rhodic Ferrasol under influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Tillage & Research*, Amsterdam, v. 64, p. 221-230, 2002.
- FREITAS L.P.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROY, M.C. & FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:157-170, 2000.
- GOLCHIN, A., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O., CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. *Aust. J. Soil Res.*, 32: 1043-1068. (1994).
- HENIN S., DUPUIS, M. Essai d'un bilan de la matière organique du sol. *Annales agronomiques*, Paris, v.15, p. 17 – 29, 1945.
- HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, J.D.; NOUGER, M.; van der LINDEN, P.J.; DAI, X.; MASKELL, K. & JOHNSON, C.A., eds. IPCC Technical Summary. *Climate Change 2001. The scientific basis. Contributions of working group I. of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, Cambridge University Press, 2001. 398p.
- JANZEN, H.H. Carbon cycling in earth systems: A soil science perspective. *Agr. Ecosys. Environ.*, 104:399-417, 2004.
- KRAM, T.; MORITA, T.; RIAHI, K.; ROEHRL, R.A.; van ROOJEN, S.; SANKOVSKI, A. & VRIES, B. Global and regional greenhouse gas emissions scenarios. *Technol. Forecast. Social Change*, 63:335-371, 2000.

- LAL R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Plant Sci.*, 22:151-184, 2003.
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution, Massachusetts*. v. 116, p. 353-362, 2002.
- LAL, R., KIMBLE, J., FOLLETT, R., Soil properties and their management for carbon sequestration. USDA, Natural Resources Conservation Services, National Soil Survey Center, Lincoln, NE (1997) 150pp.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. de S. Modelo Century de dinâmica da material orgânica do solo: equações e pressupostos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.33, p.679-686, 2003.
- LETTENS, S.; ORSHOVEN, J. V.; WESEMAEL, B. V.; VOS, B.; MUYS, B. Stocks and fluxes of soil organic carbon for landscape units in Belgium derived from heterogeneous data sets for 1990 and 2000. *Geoderma*, Amsterdam, v 127, p.11-23., 2004.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F. Adições de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:175-187, 2004.
- MACHADO, P. L. O. A. ; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Amsterdam, v.61, p.119-130, 2001.
- OADES, J.M. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, v.5, p.35-70, 1988.
- PAVEI, M. A., Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa. 2003 - 2004, 114 p. Dissertação de Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná, Brazil. *Turrialba*, v.35, p.131-139, 1985.
- PARFITT, R.L. et al. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, v.75, p.1-12, 1997.
- RAIJ, B. VAN. Capacidade de troca de cátions de frações orgânicas e minerais de solos. *Bragantia*, v.28, p.85-112, 1969.
- RECK, R.A. & HOAG, K.J. A comparison of greenhouse gas mitigation options. *Energy*, 22:115-120, 1997.
- REICOSKY, D.C., LINDSTROM, M.J. Impact of fall tillage on short-term carbon dioxide flux. *Advances in Soil Science – Soils and Global Change*. Chapter 14, p.177-187. (1995).

- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G; F. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1997 367 p.
- RIEZEBOS, H. TH., LOERTS, A. C. Influence of land use change and tillage practice on soil organic matter in southern Brazil and eastern Paraguay. *Soil & Tillage Research.*, 49: 271-275. (1998).
- ROSCOE, R.; BUURMAN, O.; VELTHORST, E. J.; PEREIRA, J. A. A. Effects of fire on soil organic matter in a “cerrado sensu-stricto” from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}C$. *Geoderma*, Amsterdam, v. 95, n. 1-2 p. 141-160, 2000.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil and Tillage Research*, v.70, p.107-119, 2003.
- SÁ, J.C.M. Frações, formas de ocorrência e distribuição no perfil do solo. In: Curso sobre Manejo do Solo no Sistema de Plantio Direto, Anais... Castro (PR): Fundação ABC, 1995.
- SÁ, J. C. M.; CERRI, C.C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M.C.; FEIGEL, B.E. Carbon sequestration in plowed and no-tillage chronosequence in a brazilian oxisol. In: STOTT, D.E.; MOHTAR, R.; STEINHARDT, G. (Eds) The global farm – Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, May 24-29, 1999. West Lafayette, Indiana, USA: Purdue University,. 2001a. p.466-471.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. & FEIGL, B., Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage cronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* v.65:1486-1499, 2001b.
- SÁ, J. C. M., CERRI, C. C., PICCOLO, M. C., FEIGL, B. E., SANTOS, J. B., FORNAZARI, A., SA, M. F. M., SEGUY, L., BOUZINAC, S., VENZKE-FILHO, S. P., PAULLETI, V., NETO, M. S. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. *Revista Plantio direto*, Passo Fundo-RS, p 45 - 61, 2004.
- SÁ, J. C. M. ; GABARDO, G. ; JUNIOR, A.C.S. ; SÁ, M.F.M. Estoque de carbono em uma pedossequência manejada no sistema plantio direto na região dos campos gerais. In: Iª Reunião Paranaense de Ciência do Solo, 2009, Pato Branco. Anais da Iª Reunião Paranaense de Ciência do Solo - CD ROM. Pato Branco : Synergismus scyentifica UTFPR - Revista do Ensino, Pesquisa e Extensão da UTFPR. Edição Especial, 2009. v. 4.
- SÁ, J. C. M. ; SEGUY, L. ; GOZE, E. ; BOUZINAC, S. ; HUSSON, O. ; BOULAKIA, S. ; TIVET, F. ; FOREST, F. ; SANTOS, J. B. . Carbon Pools and Sequestration Rates in No-Tillage Soils Under Intensive Cropping Systems in Tropical and Subtropical Agroecozones. *Soil Science Society of America Journal*, 2009. (In press).

- SALL, J.; CREIGHTON, L.; LEHMAN, A. JMP start statistics: a guide to statistics and data analysis using JMP and JMP IN software. 3rd ed. Cary: Duxbury Press, 2005. 580p.
- SÁ, M.F.M. Os solos dos Campos Gerais. In: MELO, M.S.; MORO, R.S. GUIMARÃES, G.G.B. (Eds.) in. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007, p.73-83.
- SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; DENARDIN, J. E. Potencial de seqüestro de Carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 8 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 78). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do78.htm.
- SANTOS, J. B., Alterações no estoque e Taxa de seqüestro de carbon em um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo. 2004 – 2006, 120 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Área de Concentração em Agricultura. – Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; SPERA, S. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 27, p. 545-552, 2003.
- SCHUMAN, G.E.; JANZEN, H.H. & HERRICK, J.E. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. Environ. Poll., 116:391-396, 2002.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B. F.; VENZKE FILHO, S. P.; CERRI, C. E..P.; CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). - Emissões de CO₂ e N₂O. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.33 n°4 Viçosa July/Aug. 2009.
- SIQUEIRA NETO, M., Estoque de Carbono e Nitrogênio do Solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde (GO). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba, São Paulo. 2006. 159 p.
- SILVA, J. E. O.; LEMAINSKI, J. O.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 18, p. 541-547, 1994.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. DOS, KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R. B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M., Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. Soil & Tillage Research. 76 (2004) 39-58.
- SIX, J.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregates and soil organic matter dynamics under conventional and no-till systems, Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 63, p. 1350-1358, 1999.

- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; SÁ, J.C.M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22:755-775, 2002.
- SIX, J., CONANT, R.T., PAUL, E.A. & PAUSTIAN, K., Stabilization mechanisms of protected versus unprotected soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*. *Plant and Soil*, 241:155-176, 2002.
- SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; Climate Change 2007: The Physical Science Basis. in: IPCC Working Group I IPCC Working Group I IPCC Working Group I. Melinda Marquis Kristen Averyt Melinda M.B. Tignor Henry LeRoy Miller, Jr. Technical Support Unit, IPCC Working Group I.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163, 1982.
- TORNQUIST, C. G.; PHILLIP, W.; GASSMAN, B.; MIELNICZUK, J.; GIASSON, E.; TODD, A. C. Spatially explicit simulations of soil C dynamics in Southern Brazil: Integrating century and GIS with i_Century. *Geoderma* 150 (2009) 404–414.
- VENZKE FILHO, S. P. Biomassa microbiana do solo sob sistema plantio direto na Região dos Campos Gerais, Tibagi, PR. 2003. 99 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- WHIETHÖLTER, S. Nitrogênio nos solo sob plantio direto. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, jul/ ago, p. 38-42, 2000.
- WANG, W. J.; DALAL, R. C.; MOODY, P. W.; SMITH, C. J. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biology and Biochemistry*, v.35, p.273-284, 2003.
- WIDER, R.K.; LANG, G.E.; A Critique of the Analytical Methods Used in Examining Decomposition Data Obtained From Litter Bags. *Ecology*, Vol. 63, N°. 6 (Dec., 1982), pp. 1636-1642. [Ecological Society of America](http://www.jstor.org/stable/1940104). URL: <http://www.jstor.org/stable/1940104>.
- ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam. v. 84, p. 28-40, 2005.
- ZOTARELLI L.; CARDOSO E. G.; PICCININI, J. L.; URQUIAGA S.; BODDEY, R. M.; TORRES, E.; ALVES, B. J. R. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. *Pesq. agropec. bras.* vol.38 no.9 Brasília Sept. 2003. NOTAS CIENTÍFICAS.

9. CONCLUSÕES GERAIS

Os estoques de COT e N para a de 0 - 1 m na área total ocupada por classe de solo, foi afetado pelas diferenças texturais, sendo que os solos com maior concentração de argila, foram os que apresentaram os maiores estoques. Entretanto, podemos observar que a classe de solo influenciou os estoques, a classe de solo que apresentaram os maiores estoques foram os Cambissolos e Latossolos.

A soma do COT armazenado na profundidade de 0 - 1 m de todas as classes de solos, sob campo nativo foi superior em 16% aos solos com menos de 15 anos e 12% aos solos com mais de 15 anos sob SPD. Os resultados demonstraram que o SPD afetou os estoques de COT e N, com aumento nos estoques totais a 1m de profundidade, mostrando claramente que, a manutenção do SPD por longo tempo aumenta os estoques de COT e N.

O novo ponto de equilíbrio do sistema somente ocorrerá após 20 anos, apenas com a manutenção do SPD poderá se atingir um novo equilíbrio estável “*steady state*”, e o mesmo só ocorrerá com os valores próximos ou maiores aos do CN, fato que apenas ocorrerá com o aprimoramento da técnica de plantio direto e a manutenção do mesmo por longo tempo.

Os resultados mostraram que a soma do COT armazenado na profundidade de 0 - 1 m de todas as classes de solos com menos de 15 anos em SPD foi inferior ($210 \pm 0,28$ Tg) aos solos com mais de 15 anos em SPD ($222 \pm 0,23$ Tg), resultados que mostram que o SPD na forma como vem sendo praticados pelos produtores da região dos Campos Gerais está

obtendo resultados positivos no sentido de aumentar o armazenamento do COT no solo nas áreas comerciais.

Nas classes de solo estudadas o acúmulo de carbono em solos sobre SPD ocorreram principalmente em camadas superficiais do solo. Resultado, que demonstra que o SPD mantém os estoques de nutrientes residuais da palhada, na profundidade de maior interesse para o desenvolvimento inicial das plantas, e onde também se concentra mais de 80% das raízes, cumprindo com o papel de armazenamento de nutrientes prontamente disponíveis para as plantas e seqüestrador de C no compartimento solo.

Os resultados das frações do solo demonstraram que, os estoques de C nos solos são maiores na fração menor que 53 μm , demonstrando que a maior parte dos estoques de C do solo estão na fração estável, que tem devido a recalcitrância da molécula a proteção química que faz com que esse reservatório seja o menos influenciado pelo manejo do solo. Os estoques de C tanto na fração lábil quanto na fração estável diminuem em profundidade, havendo exceções nas frações lábeis para solos argilosos, demonstrando que o maior volume do estoque de C lábil e estável estão na camada mais superficial, que é também a camada mais afeta por manejos não conservacionista do solo.

Os estoques de C lábil e estável são maiores nos solos com maior concentração de argila demonstrando que a variável textura tem grande influencia na manutenção dos estoques de C no solo e que solos que tem concentrações menores são os solos que apresentam maior fragilidade ambiental com relação ao manejo do solo e que estes provavelmente são os solos que devem receber maior controle dos fatores causadores de perdas de estoque de C.

O Índice de Labilidade demonstrou que houve um aumento das frações particuladas do solo, com o aumento do tempo de adoção do SPD, o que demonstra que o manejo do solo está influenciando diretamente os estoques de COT, e que o manejo do solo deve ser observado como uma variável importante, quando da avaliação ambiental para geração de inventários de COT.

A manutenção do SPD e o aumento do tempo de SPD influenciaram diretamente o compartimento particulado demonstrando ser este o reservatório de seqüestro do C que está em transição para a fração estável, e que esse compartimento foi o que apresentou maior acréscimo de estoque de carbono comparando-se o tempo de adoção do SPD.

Além do grande potencial econômico da Região dos Campos Gerais do Paraná essa região demonstrou que seu potencial de seqüestrar C que teve média 0,35 a 0,64 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ nas diferentes classes de solo desse estudo, podemos concluir que com a manutenção do SPD e o aumento do tempo de adoção do sistema os estoques de COT por classe de solo aumentaram, preconizando o SPD como de alto poder de ser usado como instrumento de seqüestro de C do solo.

Os resultados obtidos nesse estudo mostram que o SPD seqüestrou em média 4,28 Tg de C nas áreas com menos de 15 anos de adoção e 7,78 Tg de C nas áreas com mais de 15 anos de SPD na região dos Campos Gerais do Paraná.

As áreas com menos de 15 anos de SPD têm 8,5 % do COT originado do SPD enquanto nas áreas com mais de 15 anos a contribuição do SPD foi de 14,6,4%, resultados que mostram o potencial do SPD como seqüestrador de COT no compartimento solo.

10. REFERÊNCIAS

- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo, 25:189-197, 2001.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 24, p. 179-189, 2000.
- AMADO, T.J.C. Seqüestro de carbono em plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. In: CONFERÊNCIA ANUAL DA REVISTA PLANTIO DIRETO, 4., Passo Fundo, 1999. Anais... Passo Fundo: Aldeia Norte, p.44-51, 1999.
- AMADO, T. J. C.; et al. Sequestro de carbono em sistemas conservacionistas na Depressão Central de Rio Grande do Sul. In: V Reunión bienal de la red latinoamericana de agricultura conservacionista. p.42-43, Florianópolis, 1999. 57p.
- AMADO, T. J.C.; BAYER C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO E., CAMPOS, B.C.; VEIGA, M.; Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. Published online July 6, 2006. Published in J. Environ. Qual. 35:1599–1607 (2006).
- AMADO, T. J. C; MIELNICZUK, J.; AITA, C.; Recomendação de Adubação Nitrogenada para o Milho no RS e SC Adaptada ao Uso de Culturas de Cobertura do Solo, Sob Sistema Plantio Direto. Bras. Ci. Solo, 26:241-248, 2002
- AMADO, T. J. C.; et al. Sequestro de carbono de carbono em sistemas conservacionistas na Depressão Central de Rio Grande do Sul. In: V Reunión bienal de la red latinoamericana de agricultura conservacionista. p.42-43, Florianópolis, 1999. 57p.
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European Journal of Soil Science, Oxford, v.47, n.2, p.151-163, 1996.
- BATJES, N.; Management Options for Reducing CO₂-Concentrations in the Atmosphere by Increasing Carbon Sequestration in the Soil, International Soil Reference and Information Centre: Wageningen. 1999.
- BAYER, C.; BERTOL, I.; Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase a matéria orgânica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 23:687-694, 1999.

- BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T.J.C., MARTIN-NETO, L., FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 54: 101-109. (2000).
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; AMADO, T. J. C.; C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. *Geoderma*. 02481- 11 pages, 2005.
- BAYER, C.; DICK, D.P.; RIBEIRO, G. M.; SCHEUERMANN, K.K.; Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no tillage effect. *Ciência Rural*, Santa Maria, v32, n.3, p. 401-406, 2002.
- BAYER, C., L. MARTIN-NETO, J. MIELNICZUK, A. PAVINATO, AND J. DIECKOW. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil Tillage Res.*, 86:237-245, 2006.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997.
- BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J.; A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil & Tillage Research* 91 (2006) 217–226.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON C. N.; SANGOI, L.; Changes in Soil Organic Matter Fractions under Subtropical No-Till Cropping Systems. *Soil Science Society of America Journal* 65:1473-1478 (2001).
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, jul. 2004.
- BAYER, C., Dinâmica da material orgânica em sistemas de manejo de solos. 1994-1995, 240 p. Tese de doutorado em Ciencia do Solo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- BEARE, M.H.; HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D.C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.777-786, 1994.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D., CERRI, C. C.; BOURENNANE H. Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). *Soil Science*, New Brunswick, v.163, n. 12, p. 941-951, 1998.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. CO₂ emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. *Global Change Biology* 7; 779-787, 2001.

- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal*, v.66, p.888-896, 2002.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M. C. S.; FELLER, C.; CERRI, C. E.P.; ESCHENBRENNER, V.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B.; Gases do Efeito Estufa e Estoques de Carbono nos Solos: Inventário do Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 22, n. 1, p. 235-246, jan./abr. 2005.
- BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.54, p.382-389, 1999.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (Ed) *Methods of soil analysis*. 2. ed. Part 1: Physical and mineralogical methods. Madison, ASA, 1986. p. 363-376.
- BONDE, T.A.; ROSSWALL, T.; VITÓRIA, R.L. The dynamics of soil organic matter and soil microbial biomass following clear-felling and cropping of a tropical rainforest in the central Amazon. Linköping, 1992. 35p.+ anexos (Linköping Studies in Arts and Science, 63).
- CAMPOS, B. C. Dinâmica do Carbono em Latossolo Vermelhos Sob Sistemas de Preparo de Solo e de Culturas. Tese de Doutorado, 2006, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Santa Maria-RS.
- CANALLI, L. B. S., Decomposição de Resíduos Culturais e sua Contribuição nos Macroagregados e na Fração Lável da Matéria Orgânica do Solo no Sistema Plantio Direto. 2009. Tese de doutorado, UFPR, 109 p.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:527-538, 1998.
- CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 65, p. 45-51, 2002.
- CERRI, C. C.; VERNOUNX, M.; CERRI, C. E. P.; FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use and Management*, Oxford, v. 20, p. 248-254, 2007.
- CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I.; FERNANDES, F. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob Cerrado cultivado com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 9, p. 267-270, 1985.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo* 23:425-432, 1999.
- COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J.; Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Fev 2008, vol.32, no.1, p.323-332.

- DALAL, R.C. AND HENRY, R.J. Cultivation effects on carbohydrate contents of soil and soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1361-1365 (1988).
- DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:473-480, 1997.
- DICK, W.A. Organic, nitrogen and phosphorus concentrations and pH profiles as affected by tillage intensity. *Soil Science Society of America Journal*, v.47, p. 102-107, 1983.
- DICK, W.A., BLEVINS, R.L., FRYE, W.W., PETERS, S.E., CHRISTENSON, D.R., PIERCE, F.J., VITOSH, M.L. Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern corn belt. *Soil & Tillage Research*, 47: 235-244. (1998).
- DICK, W.A. e VAN DOREN, Jr. Continuous tillage and rotation combinations effects on corn, soybean and oats yields. *Agron. J., Madison*, v.77, p.459-465, 1985.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Tillage Research*. 1- 9, 2004.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization. *Plant and Soil* 268: 319-328, 2005.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influenced by land use, cropping and N fertilization, assessed by CPMAS13 C NMR spectroscopy. *European Journal of Soil Science*, 56, 705-715, dezembro 2005.
- DIECKOW, J., MIELNICZUK, J., KNICKER, H., BAYER, C., DICK, D. P., KÖGELKNABNER. Comparison of carbon and nitrogen determination methods for samples of a Paleudult subjected to No-Till cropping systems. *Sci. Agric. Piracicaba, Brasil*, v.64, n.5, p.532-540, September/October 2007.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: University of Hawaii Press, NifTAL Project, 1989. p.33-67.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.412, 1999.
- EMBRAPA. SNLCS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Curitiba, 1984. 791 p. (Boletim Técnico, 57).
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Ed.2, Rio de Janeiro, 1997. 212p. : il. (EMBRAPA-CNPS - Documentos; 1).

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.412, 2006.
- EMBRAPA. 1984. Mapa de Solos do Brasil, escala 1:1.000.000. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro.
- ESWARAN, H.; VAN DER BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal*, v.57, p.192-194, 1993.
- FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 33, p. 155-165, 2001.
- FEARNSIDE, P. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonia*, vol.36, nº 3, Manaus, 2006.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, Amsterdam, v. 79, p. 60–116, 1997.
- FELLER, C. Lá matière organique dans le sols tropicaux à argiles 1 :1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. These Doct. es Science, Univ. Strasbourg (ULP). 1994, 393p.
- FERREIRA, A.O. Compartimentos da matéria orgânica do solo como indicadores do seqüestro de carbono em sistema plantio direto de longa duração. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa-PR, 2009.
- FIDALGO, E.C.C.; BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; MADARI, B.E.; COELHO, M.R.; MOURA, I.B.; LIMA, C.X. Estoque de Carbono nos Solos do Brasil. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos. Dados Eletrônicos*. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Acesso em 10 dez. 2007, site: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>.
- FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. E. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S.; Soil organic carbon and fraction of Rhodic Ferrasol under influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Tillage & Research*, Amsterdam, v. 64, p. 221-230, 2002.
- FREITAS L.P.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROY, M.C. & FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:157-170, 2000.
- GREENLAND, D.J. & OADES, J.M. Saccharides. In: GREENLAND, D.J. & OADES, J.M. *Soil components*. New York, Springer-Verlag, 1975. v.1. p.213-261.
- GOLCHIN, A., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O., CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. *Aust. J. Soil Res.*, 32: 1043-1068. (1994).
- HENIN S., DUPUIS, M. Essai d'un bilan de la matière organique du sol. *Annales agronomiques*, Paris, v.15, p. 17 – 29, 1945.

- HOUGHTON, J.T.; DING, Y; GRIGGS, J.D.; NOUGER, M.; van der LINDEN, P.J.; DAI, X.; MASKELL, K. & JOHNSON, C.A., eds. IPCC Technical Summary. Climate Change 2001. The scientific basis. Contributions of working group I. of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, Cambridge University Press, 2001. 398p.
- IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. p.453-471, 1996.
- IPCC/UNEP/OECD/IEA. 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories: Reporting Instructions (Vol. 1); Workbook (Vol. 2); Reference Manual (Vol. 3). Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.
- IPCC. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. 4. Agriculture, forestry and other land uses. Available at www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm (verified 14 Feb. 2009). Inst. For Global Environ. Strategies, Hayama, Japan.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The physical science basis. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- KRAM, T.; MORITA, T.; RIAHI, K.; ROEHRL, R.A.; van ROOJEN, S.; SANKOVSKI, A. & VRIES, B. Global and regional greenhouse gas emissions scenarios. Technol. Forecast. Social Change, 63:335-371, 2000.
- KERN, J.S., JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 200-210. (1993).
- KUO, S. ET AL. Winter cover crop effects on soil organic C and carbohydrate in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 145-152 (1997).
- JANZEN, H.H. Carbon cycling in earth systems: A soil science perspective. Agr. Ecosys. Environ., 104:399-417, 2004.
- LAL R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. Plant Sci., 22:151-184, 2003.
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution, Massachusetts. v. 116, p. 353-362, 2002.
- LAL, R., KIMBLE, J., FOLLETT, R., Soil properties and their management for carbon sequestration. USDA, Natural Resources Conservation Services, National Soil Survey Center, Lincoln, NE (1997) 150pp.
- LAL, R.; LOGAN, T.J. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Ed.) Soil management greenhouse effect. Boca Raton: CRC Press, 1995. p.293-307.

- LAL, R. Soil Carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004, 123: 122.
- LAL, R., Long-term tillage and monoculture effects on a tropical Alfisol in Western Nigeria. II. Soil chemical properties. *Soil Till. Res.* 42, 161–174. 1997.
- LAL R. Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbon pools. *Energy Environ. Sci.*, 2008, 1, 86 – 100.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. de S. Modelo Century de dinâmica da material orgânica do solo: equações e pressupostos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.33, p.679-686, 2003.
- LETTENS, S.; ORSHOVEN, J. V.; WESEMAEL, B. V.; VOS, B.; MUYS, B. Stocks and fluxes of soil organic carbon for landscape units in Belgium derived from heterogeneous data sets for 1990 and 2000. *Geoderma*, Amsterdam, v 127, p.11-23., 2004.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 28, p. 175-187, 2004.
- MACHADO, P. L. O. A. ; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Amsterdam, v.61, p.119-130, 2001.
- OADES, J.M. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, v.5, p.35-70, 1988.
- PARFITT, R.L. et al. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, v.75, p.1-12, 1997.
- PAIVA, A. O., FARIA, G. E., Estoque de carbono do solo sob cerrado sensu stricto no Distrito Federal, Brasil. *Revista Trópica – Ciência Agrárias e Biológicas*. V.1, n. 1, p. 59, 2007.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná, Brazil. *Turrialba*, v.35, p.131-139, 1985.
- PAVEI, M.A. Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR). Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2005. 114p. (Tese de Mestrado).
- RAMOS, A. F., SANTANA, A. C., PRIETO, C. C., MATIAS, L. F., Mapeamento do Uso da Terra nos Campos Gerais. *Uso da Terra In: MELO, M.S; MORO, R.S. GUIMARÃES, G.GB. (Eds.) in. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007, p. 85-92.*
- RAIJ, B. VAN. Capacidade de troca de cátions de frações orgânicas e minerais de solos. *Bragantia*, v.28, p.85-112, 1969.
- RECK, R.A. & HOAG, K.J. A comparison of greenhouse gas mitigation options. *Energy*, 22:115-120, 1997.

- REICOSKY, D.C., LINDSTROM, M.J. Impact of fall tillage on short-term carbon dioxide flux. *Advances in Soil Science – Soils and Global Change*. Chapter 14, p.177-187. (1995).
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G; F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: NEPUT, 1997 367 p.
- RIEZEBOS, H. TH., LOERTS, A. C. Influence of land use change and tillage practice on soil organic matter in southern Brazil and eastern Paraguay. *Soil & Tillage Research*., 49: 271-275. (1998).
- ROSCOE, R.; BUURMAN, O.; VELTHORST, E. J.; PEREIRA, J. A. A. Effects of fire on soil organic matter in a “cerrado sensu-stricto” from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}C$. *Geoderma*, Amsterdam, v. 95, n. 1-2 p. 141-160, 2000.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil and Tillage Research*, v.70, p.107-119, 2003.
- SÁ, J. C. M.; CERRI, C.C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M.C.; FEIGEL, B.E. Carbon sequestration in plowed and no-tillage chronosequence in a brazilian oxisol. In: STOTT, D.E.; MOHTAR, R.; STEINHARDT, G. (Eds) *The global farm – Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting*. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, May 24-29, 1999. West Lafayette, Indiana, USA: Purdue University., 2001a. p.466-471.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. & FEIGL, B., Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage cronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* v.65:1486-1499, 2001b.
- SÁ, J. C. M., CERRI, C. C., PICCOLO, M. C., FEIGL, B. E., SANTOS, J. B., FORNAZARI, A., SA, M. F. M., SEGUY, L., BOUZINAC, S., VENZKE-FILHO, S. P., PAULETI, V., NETO, M. S. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. *Revista Plantio direto*, Passo Fundo-RS, p 45 - 61, 2004.
- SÁ, J. C. M., LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Research* 103 (2009) 46–56.
- SÁ, J.C.M., SÉGUY, L., GOZÉ, E., BOUZINAC, S., HUSSON, O., BOULAKIA S., TIVET, F., FOREST, F., SANTOS, J. B. Carbon pools and balance in no-tillage soils under intensive cropping systems in tropical and subtropical agroecozones. *Soil Sci. Soc. Am. J.* “in final review”, 2008.
- SÁ, J. C. M. ; SEGUY, L. ; GOZE, E. ; BOUZINAC, S. ; HUSSON, O. ; BOULAKIA, S. ; TIVET, F. ; FOREST, F. ; SANTOS, J. B. . Carbon Pools and Sequestration Rates in No-Tillage Soils Under Intensive Cropping Systems in Tropical and Subtropical Agroecozones. *Soil Science Society of America Journal*, 2009. (In press).

- SÁ, J.C.M. Frações, formas de ocorrência e distribuição no perfil do solo. In: Curso sobre Manejo do Solo no Sistema de Plantio Direto, Anais... Castro (PR): Fundação ABC, 1995.
- SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio diteto. Castro: Fundação ABC, p. 96, 1993.
- SÁ, J. C. M., Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto. Tese de Doutorado, 2001, 141p Esalq, Piracicaba.
- SÁ, J. C. M., Dinâmica da Matéria Orgânica nos Campos Gerais. In: Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais./ Gabriel de Araújo Santos (Ed.)... [et al.] – 2.ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metropolo, 2008.
- SALL, J.; CREIGHTON,L.; LEHMAN, A. JMP start statistics: aguide to statistics and data analysis using JMP and JMP IN software. 3rded. Cary: Duxbury Press, 2005. 580p.
- SÁ, M.F.M. Os solos dos Campos Gerais. In: MELO, M.S; MORO, R.S. GUIMARÃES, G.GB. (Eds.) in. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007, p.73-83.
- SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; DENARDIN, J. E. Potencial de seqüestro de Carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 8 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 78). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do78.htm
- SANTOS, J. B., Alterações no estoque e Taxa de seqüestro de carbon em um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo. 2004 – 2006, 120 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Área de Concentração em Agricultura. – Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; SPERA, S. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 27, p. 545-552, 2003.
- SCHUMAN, G.E.; JANZEN, H.H. & HERRICK, J.E. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. Environ. Poll., 116:391-396, 2002.
- SIQUEIRA NETO, M.; Estoque de Carbono e Nitrogênio do solo sob diferentes usos no Cerrado em Rio Verde. Goiás. Tese de doutorado, 2006, 159 p. USP.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; VENZKE FILHO, S. P.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). II - Emissões de CO₂ e N₂O. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.33 no.4 Viçosa July/Aug. 2009.
- SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.E.P. & CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). - I Sequestro de carbono no solo. R. Bras. Ci. Solo, 33:1013-1022, 2009.

- SHRESTHA, R. K., LAL, R., PENROSE, C. Greenhouse Gas Emissions and Global Warming Potential of Reclaimed Forest and Grassland Soils. Published in: *Journal Environmental Quality*. 38:426-436 (2009). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. Published online 6 February 2009.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influencia do sistema de manejo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.9, p.249-254, 1985.
- SILVA, J. E. O.; LEMAINSKI, J. O.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 18, p. 541-547, 1994.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. DOS, KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R. B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M., Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*. 76 (2004) 39-58.
- SIX, J.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregates and soil organic matter dynamics under conventional and no-till systems, *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 63, p. 1350-1358, 1999.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; SÁ, J.C.M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22:755-775, 2002.
- SIX, J., CONANT, R.T., PAUL, E.A. & PAUSTIAN, K., Stabilization mechanisms of protected versus unprotected soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*. *Plant and Soil*, 241:155-176, 2002. SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; Climate Change 2007: The Physical Science Basis. in: IPCC Working Group I IPCC Working Group I IPCC Working Group I. Melinda Marquis Kristen Averyt Melinda M.B. Tignor Henry LeRoy Miller, Jr. Technical Support Unit, IPCC Working Group I.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163, 1982.
- TORNQUIST, C. G.; PHILLIP, W.; GASSMAN, B.; MIELNICZUK, J.; GIASSON, E.; TODD, A. C. Spatially explicit simulations of soil C dynamics in Southern Brazil: Integrating century and GIS with i_Century. *Geoderma* 150 (2009) 404–414.
- VENZKE FILHO, S. P. Biomassa microbiana do solo sob sistema plantio direto na Região dos Campos Gerais, Tibagi, PR. 2003. 99 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

- WANG, W. J.; DALAL, R. C.; MOODY, P. W.; SMITH, C. J. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biology and Biochemistry*, v.35, p.273-284, 2003. WHIETHÖLTER, S. Nitrogênio nos solo sob plantio direto. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, jul/ ago, p. 38-42, 2000.
- WIDER, R.K.; LANG, G.E.; A Critique of the Analytical Methods Used in Examining Decomposition Data Obtained From Litter Bags. *Ecology*, Vol. 63, N°. 6 (Dec., 1982), pp. 1636-1642. *Ecological Society of America*. URL: <http://www.jstor.org/stable/1940104>.
- ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam. v. 84, p. 28-40, 2005.
- ZOTARELLI L.; CARDOSO E. G.; PICCININI, J. L.; URQUIAGA S.; BODDEY, R. M.; TORRES, E.; ALVES, B. J. R. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. *Pesq. agropec. bras.* vol.38 no.9 Brasília Sept. 2003. NOTAS CIENTÍFICAS.

LISTA DE SIGLAS

AR's - *Assessment Reports*, relatórios do IPCC.

C – Carbono

COL – Carbono Orgânico Lábil

COP – Carbono Orgânico Particulado

COT – Carbono Orgânico Total

CO₂- Dióxido de Carbono

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Fundação ABC – Fundação das cooperativas Arapoti, Batavo e Castrolanda

Gt – Gigagrama equivale a 10⁹ da grama.

IL – Índice de Labilidade

IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Km²- Quilômetro quadrado 1 Km² equivale a 1000 m vezes 1000 m.

Mg – Megagrama equivale a 10⁶ da grama.

Mg ha⁻¹- Megagrama por hectare.

N- Nitrogênio

PD – Plantio Direto

RADAMBRASIL – Projeto Governamental “Radar na Amazônia” e projeto de sensoriamento remoto. O Projeto RADAM, foi criado em 1970 no âmbito do Ministério das Minas e Energia.

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SPD – Sistema Plantio Direto

Tg – Teragrama equivale a 10¹² da grama.

% - porcentagem (equivale a 1 em 100).